ELIAS MORK

Omsetningen i humusdekket ved forskjellig temperatur og fuktighet.

INNHOLD

Side

Innledning 181

Kap. I. Ammoniakk- og nitratdannelse ved forskjellig temperatur og fuktighet 182

Metodikk 182

Materialet 184

Forsøksresultatene 187

Konklusjon 201

Kap. II. Kulldioksydutviklingen ved forskjellig temperatur og fuktighet 203

Metodikk 203

Materialet 205

Forsøksresultatene 208

Konklusjon 218

The Decomposition in the Humus Layer at Different Temperatures and Degrees of Moisture 219

Litteraturfortegnelse 223

INNLEDNING

Det organiske materiale som hvert år tilføres skogbunnen består av blader, kvist, kongler og barkdeler m. m., samt treaktige og urteaktige planter som dør. Oprinnelsesmaterialet til humusdekket er således meget forskjellig i sin sammensetning og varierer efter vegetasjonen på vedkommende sted.

Viktige faktorer for de biologiske prosesser som foregår under dekomposisjonen av planterestene er varme og fuktighet. Formuldningen kan kun foregå innen et begrenset temperaturområde. Under en lav temperatur vil formuldningsprosessene forløpe langsomt. Blir temperaturen for høi, avtar livsvirksomheten hos mikroorganismene, og nedbrytningen går langsommere og kan ophøre helt hvis temperaturen stiger over en viss grense.

Liten fuktighet hindrer nedbrytningen, da mikroorganismene ikke får det nødvendige vann. Er fuktigheten for stor, vil vannet utestenge luften og der blir mangel på surstoff som er nødvendig for de fleste mikroorganismer som deltar i omsetningen. Både for varme og fuktighet finnes der altså et optimumsområde.

Som bekjent nedbryter mikroorganismene de kompliserte organiske forbindelser til enkle uorganiske, hvorav de viktigste er kulldioksyd, vann og ammoniakk. Av forsøk som er utført av RUSSEL (1905), STOKKLASA (1911), HUTCHINSON (1913) og RUSSEL & APPLEYARD (1915 og 1917) fremgår det at der mellem jordluftens CO_2-innhold og bakterieantallet pr. g jord er en temmelig nøie sammenheng slik at der ved tiltagende CO_2-mengde finnes en tilsvarende økning i bakterieantallet. Ved å undersøke mengden av utviklet kulldioksyd i en humusprøve skulde man således få et uttrykk for intensiteten av den omsetning som ad biologisk vei foregår i en slik prøve. I det følgende skal jeg redegjøre for en del forsøk som jeg har utført for å studere kvelstoffomsetningen og CO_2-utviklingen i humusprøver som er lagret under forskjellig temperatur og fuktighet.

HESSELMAN (1917 a, b og c, 1926, 1927, 1937) har vist at skogens vekst og foryngelse er avhengig av humusdekkets tilstand og da særlig av dets evne til å frigjøre kvelstoff. I Medd. nr. 16 fra Det norske Skogforsøksvesen (MORK 1933) har jeg vist at temperaturen i skogjordbunnen i høi grad er avhengig av bestandets tetthet. Jo glisnere bestandet er, jo høiere er jordtemperaturen i vegetasjonsperioden, og på en snauhugst er jordbunnstemperaturen under ellers like forhold høiere enn i skogen. Gjennem skogbehandlingen kan man altså regulere jordtemperaturen innen visse grenser.

I et bestand blir en stor del av nedbøren hengende igjen i trekronene og fordamper derifra. På en snauflate vil det således komme mere nedbør til humusdekket. Ved skogens skjøtsel kan man således til en viss grad også regulere fuktigheten i humusdekket.

Av de undersøkelser som jeg har utført over jordtemperaturen i skogjordbunnen fremgår det at temperaturen i humusdekket i vegetasjonstiden varierer mellem ca. 7° og 35° C. Dette arbeide har til opgave å undersøke hvordan forskjellige kombinasjoner av temperatur og fuktighet innvirker på omsetningen i humusdekket.

Kapitel I.

AMMONIAKK- OG NITRATDANNELSE VED FORSKJELLIG TEMPERATUR OG FUKTIGHET

Metodikk.

Kvelstoffomsetningen blev undersøkt i humusprøver fra granskog. Prøvene blev lagret i glasskar forsynt med kork og vattopp (se fig. 1). Glasskarene blev lagret i termostater hvor temperaturen blev holdt konstant hele lagringstiden.

Som analysemetode har jeg anvendt den av CARSTEN OLSEN (1929) beskrevne metode for ammoniakk- og nitratbestemmelse, hvor man ekstraherer jorden med 2 n KCl som tilsettes 1 n HCl til ekstraktvæsken med prøve får en pH = 1. Efterat man har tilsatt nogen dråper toluol rystes prøven 1 time. 100 ml av filtratet + 200 ml vann destilleres efter tilsetning av MgO, og ammoniakken opsamles i 0,05 n H_2SO_4 som efterpå titreres med 0,05 n NaOH.

Nitratinnholdet bestemmes efterpå i samme prøve ved å tilsette 200 ml vann og ca. 3 g av Devardas legering til destillasjonskolben. Destillasjonen fortsettes til man har destillert over ca.

100 ml. Det nitrat som finnes i ekstraktvæsken vil da reduseres til ammoniakk og destillere over i opsamlerkolben, hvis innhold titreres på samme måte som nevnt ovenfor.

Ifølge OLSEN (1929) har humusrike jordprøver større absorbsjonsevne av ammoniakk enn mere humusfattige. En fullstendig ekstraksjon av ammoniakk i jord kan opnåes når jorden ekstraheres med 1 n kaliumkloridopløsning hvori der finnes så meget saltsyre at opslemningens pH-verdi blir ca. 1,0.

OLSENS metode for bestemmelse av ammoniakk er således mere nøiaktig enn den av SCHLOESING anvendte metode, hvor man ekstraherer prøven med bare 0,1 n saltsyre. BENGTSSON (1924) har også bevist at saltsyre er mindre heldig som ekstraktvæske da en del av ammoniakken blir holdt tilbake i prøven.

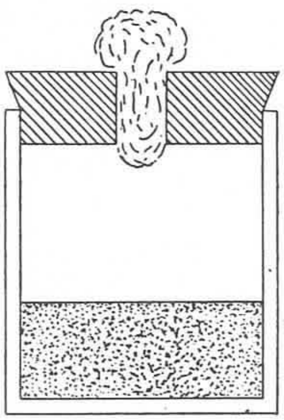

Fig. 1.
Tverrsnitt av karr anvendt til lagringsforsøkene.
Cross section of vessels used in the storing experiments.

Til påvisning og bestemmelse av meget små mengder nitrat i jord er den av RIEHM (1926) beskrevne difenylamin-metode ganske lettvint og nøiaktig. For bestemmelse av større mengder er den derimot ikke brukbar. Jeg har derfor anvendt OLSENS metode under bestemmelsen av nitratinnholdet. I humusprøver, hvor der er lite eller intet nitrat, hvilket man kan bestemme ved difenylaminmetoden, får man ofte en positiv feil hvis man bestemmer efter OLSENS metode. Dette må bero på at man under kokning av humusekstrakt med Devardas legering får avspaltet endel ammoniakk av kvelstoffholdige forbindelser som finnes i ekstraktvæsken. Kokning med Devarda er en radikal behandling som i slike tilfelle lett kan gi et feilaktig uttrykk for nitratinnholdet.

Under de bestemmelser jeg har foretatt har jeg derfor anvendt difenylamin-metoden når det gjelder å påvise små mengder. Under samtlige bestemmelser har jeg utført to parallellanalyser. Reaksjonen i de undersøkte prøver er bestemt elektrometrisk efter den av BIILMAN innførte kinhydron-metode. Reaksjonen er bestemt i jordopslemninger og bestemmelsene er utført på Norges Landbrukshøiskoles analyselaboratorium av assistent HAUGLAND.

Et uttrykk for omsetningen i humusdekket får man ved å undersøke innhold av ammoniakk og nitrat. Under en sådan analyse er det ikke tilstrekkelig bare å gjøre en kjemisk analyse av humusprøver som man tar direkte fra marken, da såvel ammoniakk- som nitratinnhold varierer på et og samme sted til forskjellige tider i vegetasjonsperioden. Man pleier derfor å lagre humusprøvene en viss tid under gunstige temperatur- og fuktighetsforhold for å finne humusens evne til kvelstoffrigjørelse. Denne metode har HESSELMAN (1917 b og c), GÅRDER og HAGEM (1921) og GLØMME (1932) anvendt.

Ved hjelp av en slik lagring kan man få en bedre klassifisering av de forskjellige humustyper, idet evnen til kvelstoffavspaltning gir et godt uttrykk for omsetningen i humusdekket, og for humusens kvalitet.

Det vanlige ved slike lagringsforsøk er at man tilsetter fuktighet efter beste skjønn, idet man forsøker å få en fuktighetsgrad som tilsvarer den man finner ute i naturen under gunstige fuktighetsforhold.

Lagringskolbene blir som regel satt i et skap på et laboratorium, hvor temperaturen selvfølgelig kan veksle meget under lagringstiden.

I dette arbeide har opgaven i første rekke vært å undersøke om der blev nogen vesentlig forskjell på kvelstoffrigjørelsen ved ulike fuktighetsgrader. Dernæst hvordan kvelstoffproduksjonen var ved de forskjellige temperaturtrin innen det temperaturområde man finner ute i naturen (se side 182), samt om den fuktighetsgrad som svarer til optimum ved f. eks. 10° C også gjelder høiere temperaturtrin, f. eks. 20° C. Det kan jo tenkes at der til en høiere temperatur behøves en større fuktighet for å få optimumsbetingelser for omsetningen.

Hvis kvelstoffomsetningen er sterkt avhengig av temperatur og fuktighet, er det vanskelig å sammenligne forsøk som er utført til forskjellige tider av året eller forsøk som er utført av forskjellige forskere på forskjellige laboratorier, uten at man har holdt en bestemt konstant temperatur og en bestemt fuktighetsgrad i de prøver som skal sammenlignes.

Materialet.

Vinteren 1935—1936 foretok jeg en serie lagringsforsøk med humusprøver for å undersøke hvordan kvelstoffrigjørelsen var ved de forskjellige temperatur- og fuktighetsgrader. Humusen som blev benyttet til disse forsøk blev samlet 20. oktober 1935 i Skogforsøksvesenets forsøksområde i Rør- og Langvann statsskog.

Humusprøve I blev samlet på en snauhugst som blev avdrevet i 1925 (flate 144, se MORK 1932, s. 13—19). Vegetasjonen består nu hovedsakelig av bringebær *(Rubus idæus)*, med mellemliggende matter av *Agrostis tenuis* og *Deschampsia flexuosa*. *Rubus idæus* vokser omkring stubbene og overalt hvor der har ligget meget kvist efter hugsten. Mellem trærne vokste der før hugsten vesentlig *Dryopteris Linnæana* og *Vaccinium Myrtillus* samt relativt sparsomt av *Deschampsia flexuosa*. Efter hugsten gikk denne vegetasjon mere og mere over til

rene matter av *Deschampsia flexuosa*. Siden 1932 har flaten vært sterkt beitet hver sommer, og *Agrostis tenuis* har innvandret. Vegetasjonen utenom bringebærflekkene består således nu overveiende av *Agrostis tenuis*. Denne forandring skyldes sikkert beitningen. Prøve I blev kun tatt av humus hvor der vokste tett med bringebær.

Humusprøve II blev tatt under et skjermbestand (flate 143, se MORK l. c.) like ved flate 144, hvor vegetasjonen vesentlig bestod av *Dryopteris Linnæana*, *Vaccinium Myrtillus* og *Deschampsia flexuosa*. Prøve II blev tatt av humus under tett vegetasjon av *Dryopteris Linnæana*. Før lagringen blev satt i gang viste analysene av disse humusprøver følgende resultater.

Tabell 1.

Analyser av humusprøve I og II som blev anvendt til lagringsforsøk.
Analyses of humus samples I and II used in storage experiments.

Nr.	Humus fra flate *Humus from plot*	Dominerende vegetasjon *Predominating vegetation*	% organisk substans *% of organic matter*	pH	Mg. NH_3—N pr. kg. tørr humus *Per kg of dry humus*	Mg. NH_3—N pr. kg. org. substans *Per kg of organic matter*	Mg. NO_3—N pr. kg. tørr humus *Per kg of dry humus*	Mg. NO_3—N pr. kg. org. substans *Per kg of organic matter*
I	144	*Rubus idæus*	57,2	4,63	90	157	45	79
II	143	*Dryopteris Linnæana*	56,4	4,50	76	135	0	0

Vinteren 1936—1937 satte jeg i gang en ny serie lagringsforsøk med 5 forskjellige fuktighetsgrader på temperaturtrinene 10, 15, 20, 25 og 30 gr. C. Humusen blev samlet 12. oktober 1936 på samme sted som prøve II i tab. 1, nemlig på forsøksflate 143. Men denne gang blev prøvene tatt fra humus, hvor den overveiende del av vegetasjonen bestod av *Vaccinium Myrtillus*. Humusen blev behandlet på samme måte som beskrevet for det foregående lagringsforsøk. Da lagringsforsøkene blev satt i gang viste analysene av humusprøven følgende resultat:

Tabell 2.

Analyser av humusprøve III som blev anvendt til lagringsforsøk.
Analyses of humus sample III used in storage experiments.

Nr.	Humus fra flate *Humus from plot*	Dominerende vegetasjon *Predominating vegetation*	% Organisk substans *% of organic matter*	pH	Mg. NH_3 — N pr. kg. tørr humus *Per kg of dry humus*	Mg. NH_3 — N pr. kg. org. substans *Per kg of organic matter*	Mg. NO_3 — N pr. kg. tørr humus *Per kg of dry humus*	Mg. NO_3 — N pr. kg. org. substans *Per kg of organic matter*
III	143	*Vaccinium Myrtillus*	57,4	4,28	92	160	0	0

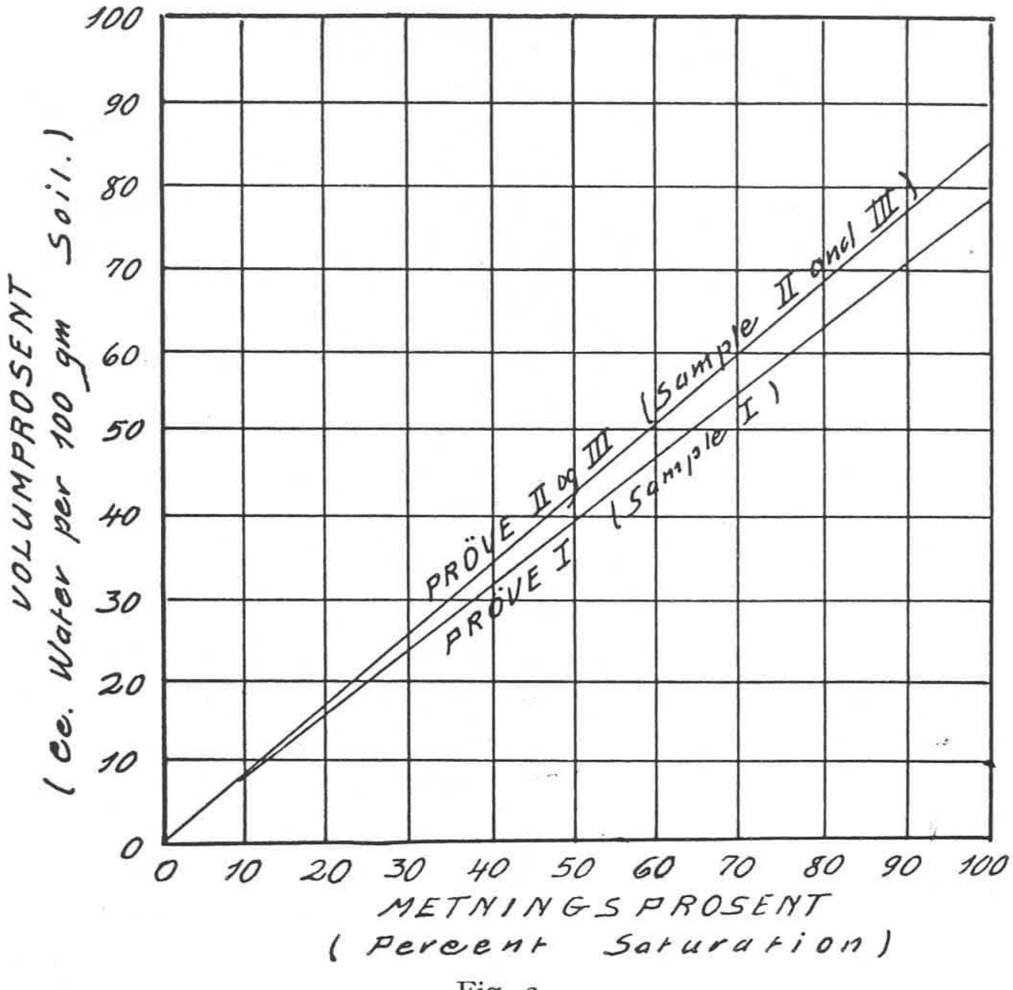

Fig. 2.
Forholdet mellem metningsprocent og volumprocent vann i humusprøve I, II og III.
Relation between saturation and volume percentage of water in humus samples I, II and III.

Fuktighetsgraden i lagringsprøvene er i tabellene angitt i volumprocent og i vektsprocent. Vektsprocenten er satt i forhold til prøvens absolutte tørrstoffinnhold. En fuktighetsgrad av 100 vektsprocent betyr et vanninnhold hvis vekt er lik prøvens tørrstoffvekt.

Skal man sammenligne vanninnholdet i humusprøver hvis glødetap er forskjellig, gir vektsprocenten et dårlig uttrykk for vanninnholdet. Jeg har derfor også anført volumprocenten. Av fig. 2 kan man se forholdet mellem volumprocent og metningsprocent i de anvendte humusprøver. Når vanninnholdet i humusprøvene II og III er 85 volumprocent, er prøvene mettet med vann, og 42 volumprocent svarer til halv metning.

For å opnå en mindre fuktighet enn den jorden hadde ved innsamlingen måtte jeg legge endel humus til langsom tørring i et kjellerrum. Hvis man tørrer jord hurtig i et varmt, tørt rum, vil der danne sig en tørr skorpe på jordpartiklenes overflate. Dette er meget uheldig, da fuktigheten inne i humuspartiklene blir større enn ytterst. Dessuten blir vannledningsevnen mellem de enkelte partikler innbyrdes hindret. I en slik prøve vil det være umulig å opnå jevn fuktighet når man efter et visst antall døgn skal erstatte det vann som fordamper fra humusprøven. Prøven må derfor tørres langsomt i et relativt fuktig rum.

Forsøksresultatene.

Under det første lagringsforsøk er der utført analyser efter 4, 8, 12, 16 og 20 ukers lagringstid. I fig. 3 er analysene efter 8 ukers lagringstid fremstillet grafisk.

Betrakter man resultatet av analysene efter 8 ukers lagringstid, ser man at ammoniakkinnholdet tiltar meget med stigende lagringstemperatur. Det er liten forskjell mellem 10° og 15° C, men mellem 15° og 20° C er forskjellen betydelig større, idet ammoniakkinnholdet ved 20° C efter 8 ukers lagringstid er omtrent dobbelt så stort som ved 15° C. Ved 25° C er det omtrent 3 ganger så stort som ved 15° C, og ved 30° C næsten 4 ganger så stort som ved 15° C. Dette gjelder for både prøve I og II.

Efter 12 ukers lagringstid er dette forhold ennu mere utpreget, idet der ved 20° C er over dobbelt så stort ammo-

Tabell 3.

Analyser av humusprøve I og II lagret ved 5 forskjellig konstante temperaturer og 3 forskjellige fuktighetsgrader.

Analyses of humus samples I and II stored at 5 different constant temperatures and at 3 different degrees of humidity.

Humusprøve *Humus sample*	Temperatur *Temperature*	Vanninnhold *Water content*: Vektsprocent *Weight in %*	Vanninnhold *Water content*: Volumprocent *Volume in %*	Lagret 4 uker *Stored 4 weeks*: pH	Lagret 4 uker *Stored 4 weeks*: NH_3-N	Lagret 4 uker *Stored 4 weeks*: NO_3-N	Lagret 6 uker *Stored 8 weeks*: pH	Lagret 6 uker *Stored 8 weeks*: NH_3-N	Lagret 6 uker *Stored 8 weeks*: NO_3-N	Lagret 12 uker *Stored 12 weeks*: NH_3-N	Lagret 12 uker *Stored 12 weeks*: NO_3-N	Lagret 16 uker *Stored 16 weeks*: pH	Lagret 16 uker *Stored 16 weeks*: NH_3-N	Lagret 16 uker *Stored 16 weeks*: NO_3-N	Lagret 20 uker *Stored 20 weeks*: NH_3-N	Lagret 20 uker *Stored 20 weeks*: NO_3-N
				Innhold av NH_3—N og NO_3—N er angitt i mg pr. kg organisk tørrstoff *Content of NH_3—N and NO_3—N are stated in mg per kg of organic matter*												
I	10° C.	165	30	4,00	171	283	4,38	241	708	285	1136	4,20	285	1793	257	2360
		240	45	4,60	224	472	4,37	252	991	344	1661	4,15	302	3068	362	2834
		315	60		192	353	4,33	322	991	302	1514	3,95	348	2928	304	2620
II		150	30		174	0	4,48	262	0	348	0	4,68	521	48	550	96
		225	40	4,32	113	0	4,49	289	0	367	0	4,65	583	59	920	135
		325	55		98	0	4,47	326	0	390	0	4,62	652	67	988	268
I	15° C.	165	30		285	482	4,35	411	1587	479	1800	4,16	514	2835	572	3309
		240	45	4,60	271	568	4,25	484	2265	545	2755	4,00	575	4256	605	4346
		315	60		322	491	4,19	535	2265	643	2708	3,88	547	4064	731	4153
II		150	30		156	0	4,45	348	0	521	0	4,77	752	59	1390	287
		225	40	4,32	138	0	4,61	491	0	798	27	4,93	1167	239	1718	1686
		325	55		145	0	4,60	523	0	915	92	4,53	1372	911	1236	3067
I	20° C.	165	30		371	586	4,44	743	2115	857	2615	4,27	1028	4256	1428	4346
		240	45	4,60	472	586	4,30	869	2832	1058	3400	4,10	1203	4720	1451	5664
		315	60		451	710	4,30	907	2613	1030	3314	4,02	965	4720	1157	4912
II		150	30		225	0	4,66	677	0	1158	0	4,97	1633	96	2025	720
		225	40	4,32	205	0	4,73	798	0	1410	51	4,79	1901	670	2025	3475
		325	55		234	0	4,77	847	0	1502	266	4,23	1707	2585	1791	3596
I	25° C.	165	30		685	236	4,94	1101	283	1481	283	5,26	1998	850	2169	2834
		240	45	4,60	605	330	5,07	1302	566	2098	425	5,10	2269	1559	2358	4255
		315	60		643	129	5,11	1447	9	1655	213	4,72	1416	1136	1950	3400
II		150	30		491	0	4,82	1043	0	1486	0	5,23	1911	0	2372	28
		225	40	4,32	390	0	5,02	1351	0	2486	0	5,45	2945	0	3005	1151
		325	55		457	0	4,99	1516	0	2007	0	5,09	2610	527	2193	3259
I	30° C.	165	30		884	198	5,13	1428	94	2113	80	5,46	2426	152	2741	142
		240	45	4,60	998	189	5,26	1909	38	2500	33	5,63	2785	38	3030	28
		315	60		965	0	5,21	2008	0	2395	0	5,69	2123	0	2601	0
II		150	30		950	0	5,02	1679	0	1986	0	5,37	2401	0	2605	0
		225	40	4,32	1167	0	5,12	1826	0	2518	0	5,34	3191	0	3023	0
		325	55		832	0	4,97	2025	0	1894	0	5,38	2544	0	2883	0

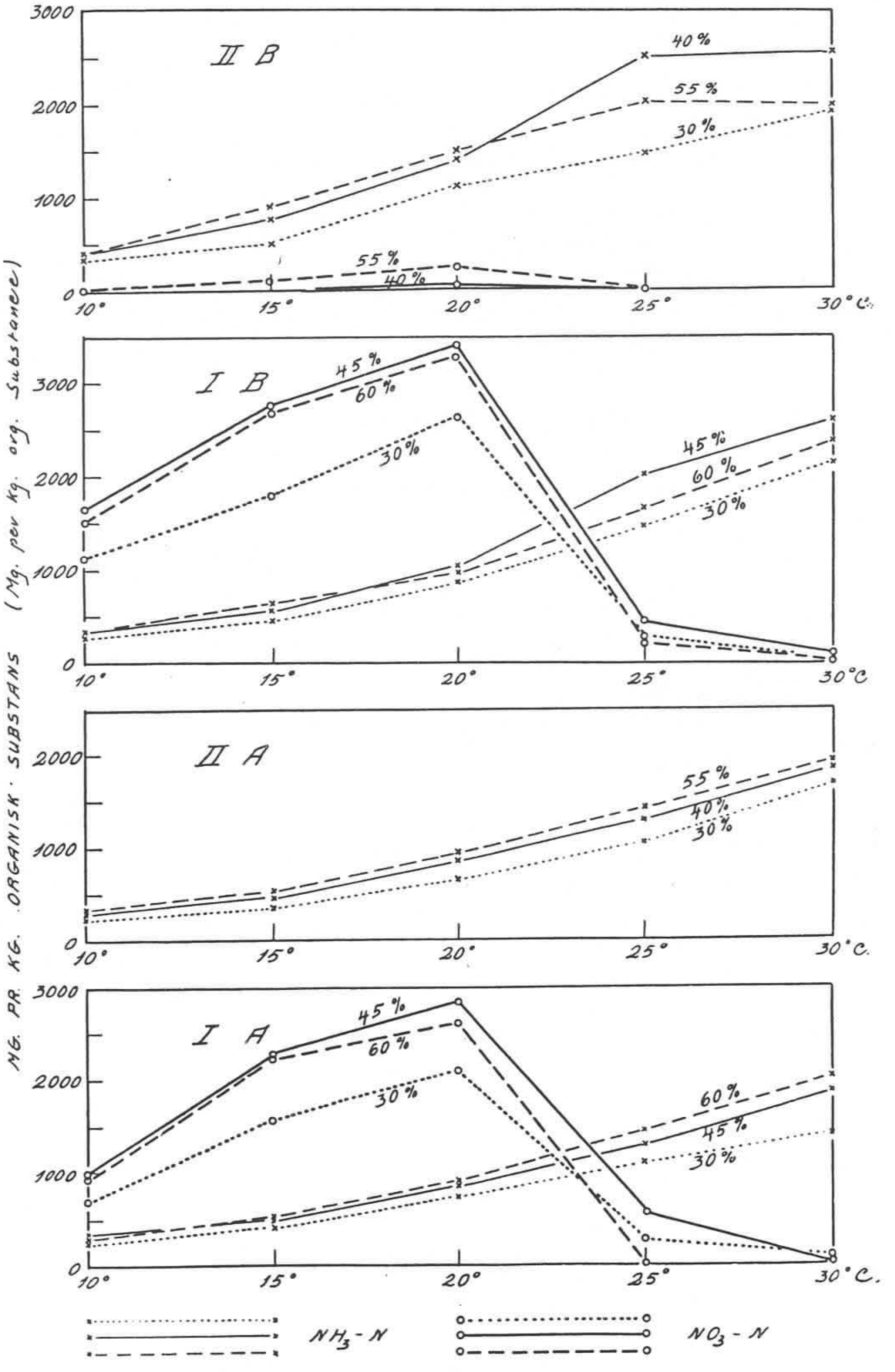

Fig. 3.

Innhold av NH_3–N og NO_3–N i humusprøve I og II lagret under 5 forskjellige konstante temperaturer og 3 forskjellige fuktighetsgrader. Lagringstid A 8 uker, B 12 uker.

Content of NH_3–N and NO_3–N in humus samples I and II stored at 5 different constant temperatures and at 3 different degrees of humidity. Period of storage A 8 weeks, B 12 weeks.

niakkinnhold som ved 15° C. Ved 25° C. er det over 3 ganger så stort, og ved 30° C er det ca. 4,5 ganger større enn ved 15° C.

Ammoniakkinnholdet er omtrent like stort for de 2 største fuktighetsgrader som her er anvendt, men kurven for den minste fuktighetsgrad ligger overalt lavere enn de 2 andre. En fuktighetsgrad av 30 volumprocent må altså ligge under optimumsområdet for ammoniakkdannelsen.

Kurvene for nitratinnholdet har et ganske annet forløp, idet man finner det største nitratinnhold ved 20° C. Stigningen i kurvene fra 10 til 20° C er ganske rettlinjet, og der finnes omtrent 2,5 ganger så meget nitrat i de prøver som er lagret ved 20° C, sammenlignet med dem som er lagret ved 10° C. Innen dette område følger således nitratproduksjonen i disse forsøk den van't Hoff-ske lov.

Ved 25° C er der derimot ikke foregått nogen nitratdannelse av betydning i løpet av de første 12 uker, og ved 30° C har nitratinnholdet til og med avtatt. Både ved 10, 15 og 20 gr. C er der en tydelig forskjell på nitratinnholdet ved de forskjellige fuktighetsgrader. Efter 12 ukers lagringstid er det således 1000 mg mindre nitrat for den laveste fuktighetsgrad. Mellem 40 og 60 volumprocent er det derimot ingen sikker forskjell i dette tilfelle.

I prøve II, som er tatt av humusen under et skjermbestand, er ammoniakkinnholdet efter 8 og 12 ukers lagring like stort som i prøve I, men nitratinnholdet i prøve II er 0 helt til efter 12 ukers lagringstid da det begynner å bli litt i de forsøk hvor man har de største fuktighetsgrader.

Efter 16 ukers lagringstid har ammoniakkinnholdet i prøvene øket på samtlige temperaturtrin, men relativt mest ved 20° og 25° C. Stigningsforholdet i kurvene mellem 25° og 30° C er nu blitt litt mindre enn det var efter 12 ukers lagringstid. Den intense ammoniakkdannelse som man til å begynne med hadde ved 30° C har altså avtatt.

Ammoniakken dannes jo av proteinstoffer, og det er en rekke mikroorganismer, såvel sopper som bakterier, som deltar i denne biologiske oksydasjonsprosess. Soppene kan dekomponere protein meget livlig, men proteinets natur og tilstedeværelsen av nyttbare kullhydrater regulerer prosessen. Ved en høi temperatur, hvor omsetningen til å begynne med går

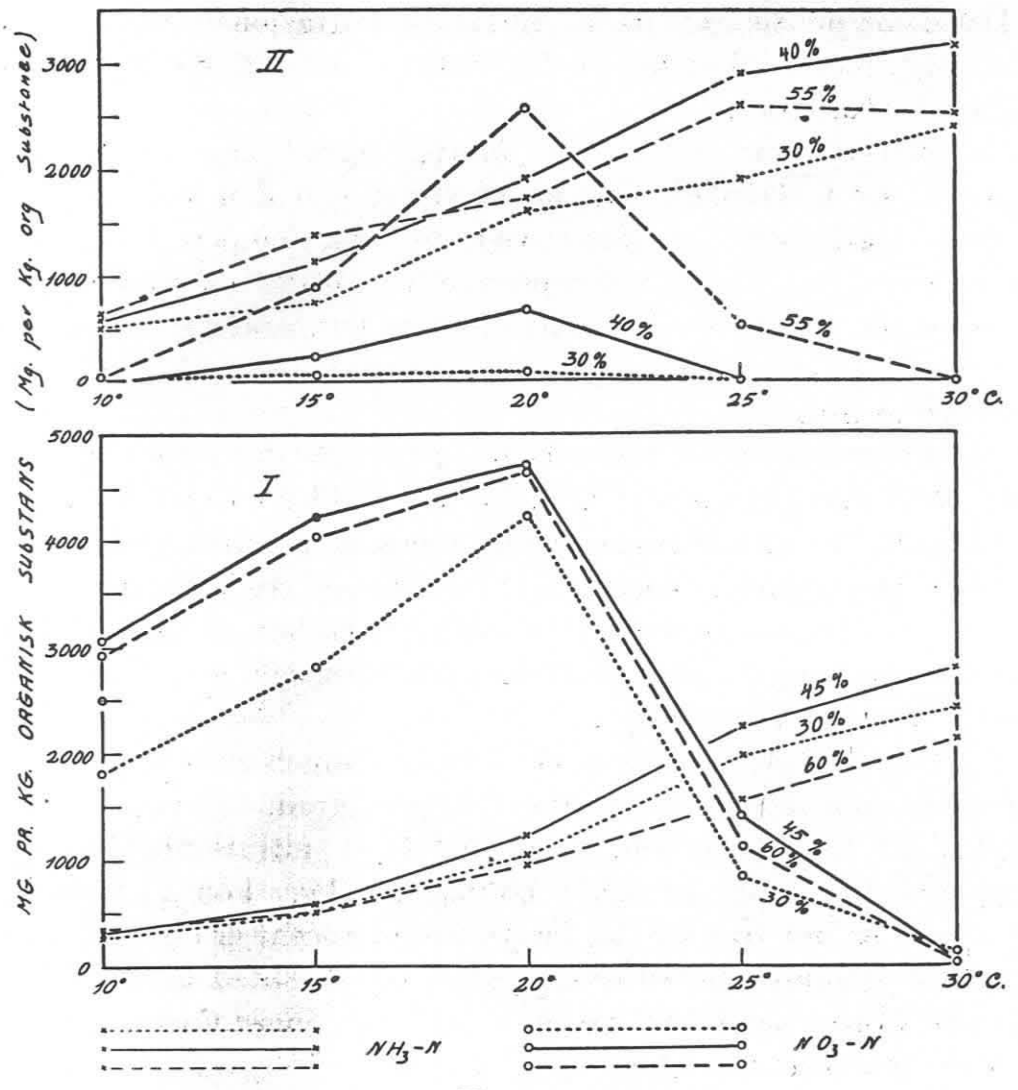

Fig. 4.

Innhold av NH_3–N og NO_3–N i humusprøve I og II lagret under 5 forskjellige konstante temperaturer og 3 forskjellige fuktighetsgrader. Lagringstid 16 uker.

Content of NH_3–N and NO_3–N in humus samples I and II stored at 5 different constant temperatures and at 3 different degrees of humidity. Period of storage 16 weeks.

relativt hurtig, vil mikroorganismene snart lide mangel av lett tilgjengelig protein og kullhydrater, og ammoniakkdannelsen avtar. Ved en lavere temperatur vil forrådet av de nevnte stoffer vare lengre.

Nitratproduksjonen i prøve I er fremdeles størst ved 20° C, men forskjellen mellem 10° og 20° C er ikke så stor her, da den har steget relativt mere ved 10° C den siste periode.

Dette beror sikkert på at nitratkoncentrasjonen ved 20° C nu begynner å bli så høi at den virker hemmende på de nitrifiserende bakterier.

Kurven for den minste fuktighetsgrad ligger også her lavest, og forskjellen, som nu er større enn den var efter 12 ukers lagringstid, er størst ved de lave temperaturer. En fuktighetsgrad på 30 volumprocent er således en minimumsfaktor for nitratdannelsen ved samtlige temperaturtrin, og den virker mest nedsettende på nitratproduksjonen ved de laveste temperaturer.

Av analysene for prøve II fig. 4 fremgår det meget tydelig at såvel fuktigheten som temperaturen spiller en overordentlig stor rolle for nitratdannelsen selv innen et temmelig begrenset temperaturområde. Dette kommer meget tydelig frem av analysene for humusprøve II, da dette er en humus hvor nitratdannelsen foregår meget tregt, idet nitrifiseringen først begynner efter 12 ukers lagringstid.

Det fremgår av fig. 4 II at nitratdannelsen er størst i de prøver som har den største fuktighetsgrad. Dette gjelder samtlige temperaturtrin. Ved 20° C er nitratinnholdet for 30 volumprocent fuktighet 96 mg pr. kg. For 40 volumprocent er det 670 mg, og for 55 volumprocent er det 2585 mg pr. kg organisk tørrsubstans. Man ser dessuten at lagringstemperaturen også har meget å bety for omsetningen, særlig innen temperaturområdet 15 til 25° C.

Ved 10° C har det praktisk talt ikke foregått nogen nitratdannelse ved nogen av de undersøkte fuktighetsgrader, og i prøver lagret ved 30° C finnes det ikke spor av nitrat. For den største fuktighetsgrad får man ved 15° C 911 mg pr. kg, ved 20° C 2585 og ved 25° C 527 mg pr. kg organisk tørrsubstans.

Av disse resultater er det innlysende at såvel temperatur som fuktighet spiller en overordentlig stor rolle for kvelstoffomsetningen, da man innen temperaturområdet 15° til 20° C kan ha så store variasjoner som fra 911 mg til 2585 mg pr. kg organisk tørrstoff.

Av analysene som blev utført efter 20 ukers lagringstid, ser man at ammoniakkinnholdet ikke har tiltatt noget vesentlig siden forrige analyse, og forholdet mellem de forskjellige tem-

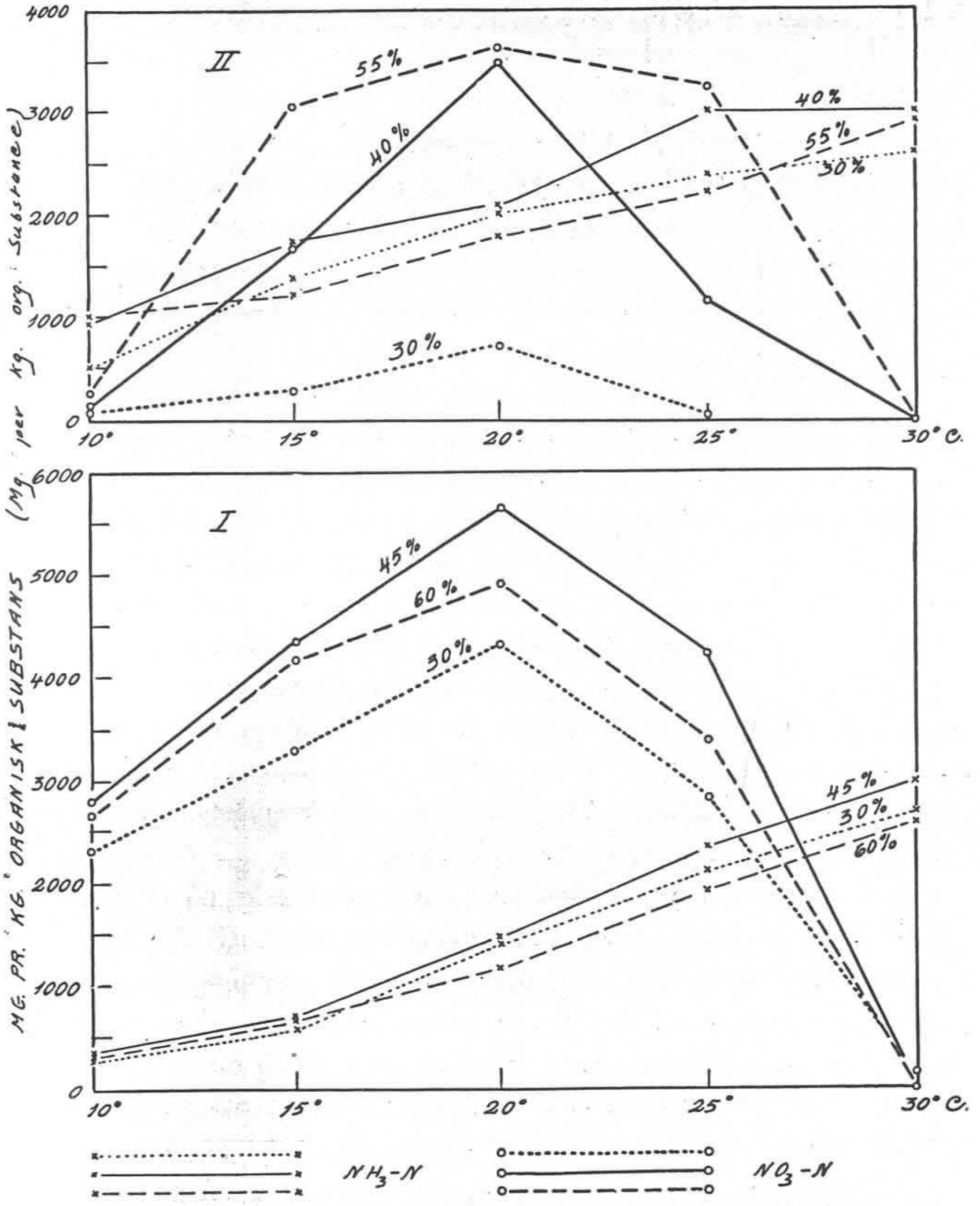

Fig. 5.

Innhold av NH_3–N og NO_3–N i humusprøve I og II lagret under 5 forskjellige konstante temperaturer og 3 forskjellige fuktighetsgrader. Lagringstid 20 uker.

Content of NH_3–N and NO_3–N in humus samples I and II stored at 5 different constant temperatures and at 3 different degrees of humidity. Period of storage 20 weeks.

peraturtrin er stort sett uforandret. Forskjellen mellem ammoniakkinnholdet på 25° og 30° C synes å bli mindre efter hvert. Dette kan bero på at ammoniakkinnholdet for 30° C begynner

å bli så stort at det virker hemmende på videre ammoniakkdannelse — massevirkningsloven — da det er oppe i ca. 3000 mg pr. kg organisk tørrstoff.

I humusprøve I har nitratinnholdet steget på samtlige temperaturtrin undtagen ved 30° C, hvor det har gått tilbake slik at det nu finnes bare ubetydelige mengder igjen. Den største økning har man for 25° C, hvor der i løpet av de siste 4 uker har vært en ganske intens nitrifikasjon.

Efter dette skulde det ved 25° C ta lengere tid før nitrifikasjonen kommer i gang, men når først nitrifikasjonen begynner, øker den ganske raskt. Kurven for den minste fuktighetsgrad ligger også her lavest.

Nitrifikasjonen i humusprøve II har vært meget intens på 15, 20 og 25 gr. C den siste lagringsperiode for de 2 største fuktighetsgrader. I de tørreste prøver foregår derimot nitrifikasjonen langsomt. På 20° C er nitratinnholdet nu like stort for fuktighetsgradene 40 og 55 volumprocent, men ved 15 og 25° C er det betydelig større for den høieste fuktighetsgrad. Nitrifikasjonen inntrer altså tidligere og går raskere ved den største fuktighetsgrad. For 30° C er der fremdeles ingen nitrifikasjon, og på 10° C er det ubetydelig.

Under disse sammenligninger bør man huske på at mengden av nitrat uttrykkes i mg pr. kg organisk tørrstoff. Da nitratene er meget lett opløselige, vil nitratkoncentrasjonen bli betydelig mindre i en prøve hvor fuktigheten er større. Det er derfor rimelig at man efter en lang lagringstid kan få en større nitratmengde i en prøve med stor fuktighet, da nitratet vil nedsette produksjonen når koncentrasjonen er nådd til en viss grense.

Under naturlige betingelser ute i marken vil jo nitratene dels bli assimilert av plantene, dels vil de vaskes ut med det nedbørsvann som synker ned gjennem humusdekket. Man vil derfor sjelden opnå så store koncentrasjoner som de man får under slike gunstige betingelser som i et lagringskar på laboratoriet. Men selv om man ikke kan utføre laboratorieforsøkene under de samme forhold som man har ute i marken, er laboratorieforsøkene allikevel verdifulle når det gjelder å klarlegge de innviklede prosesser som foregår under formuldningen.

Av det foregående ser man at en stor fuktighetsgrad stimulerer nitratdannelsen meget, idet nitrifiseringen i en

humusprøve hvor kvelstoffavspaltningen foregår relativt tregt, begynner tidligere. I en slik jord vil dessuten en lav temperatur som 10° C virke sterkere som begrensende faktor for nitratdannelsen enn i en humusprøve som nitrifiserer ganske lett. Dette beror sannsynligvis på at ammoniakkfrigjørelsen ved 10° C foregår så meget langsommere. Der blir utilstrekkelig ammoniakkdannelse for en livlig nitrifikasjon.

Temperaturoptimumet synes å være videre ved 55 volumprocent enn det er ved 40 volumprocent (se fig. 5 II). En lav jordfuktighet hemmer i meget høi grad nitratdannelsen.

Vi har i det foregående sett at ammoniakkdannelsen ved 10° og 15° C foregår langsomt, men den er dog ikke helt ubetydelig. Av tab. 3 kan man se at der efter 12 ukers lagringstid ved 10° C er dannet ca. 200 mg ammoniakk pr. kg organisk tørrstoff. Ved 15° C er det dannet ca. 400 mg.

Ifølge WAKSMAN (1932 s. 774) skal ammoniakkdannelsen i jord finne sted mellem 15° og 60° C, og nitrifikasjonen er ifølge PANGANIBAN (1925) ubetydelig under 15° C Den har sitt optimumsområde omkring 35° C, hvorefter den herefter hurtig avtar henimot 40° C. Av undersøkelser som er utført av WAKSMAN og MADHOK (1937) fremgår det at aktiviteten hos de nitrifiserende bakterier er størst mellem 27° og 37° C.

Vi har i det foregående sett at vi her har fått en livlig nitrifikasjon selv ved en så lav temperatur som 10° C, særlig hvis jorden er lett nitrifiserbar. Mine resultater stemmer således ikke med de tidligere undersøkelser som her er referert. Årsaken til dette må være at der finnes forskjellige klimatiske raser av mikroorganismer som er avpasset efter de forhold hvorunder de lever. Det er naturlig at mikroorganismer som finnes i jord som ligger i et varmt klima, nødvendigvis har et annet optimumsområde enn de som optrer i koldere strøk.

Dette er bl. a. bekreftet av MISCHUSTIN (1925), som har funnet at bakterienes temperaturoptimum er avhengig av den jord hvorfra de er isolert. Bakterier isolert fra jord fra et koldt klima er i stand til å vokse ved lavere temperaturer enn bakterier isolert fra jord i et varmere klima.

Resultatet av lagringsforsøkene med humusprøve III, som blev utført vinteren 1936—1937, er opført i tab. 4. Denne gang blev prøvene analysert efter 8, 16 og 50 ukers lagringstid.

Efter 8 uker blev der på 30° C tatt ut en serie kolber som blev flyttet over til 20° C. Dette blev gjort for å undersøke om en lagringstid på 8 uker virket steriliserende, slik at man ikke kunde få nitratdannelse selv om prøven efterpå kom under optimumstemperatur.

Tabell 4.

Analyser av humusprøve III lagret ved 5 forskjellige konstante temperaturer og 5 forskjellige fuktighetsgrader.

Analyses of humus sample III stored at 5 different constant temperatures and 5 different degrees of humidity.

Tempe-ratur *Tempe-rature*	Vanninnhold *Water content*		Innhold av NH_3—N og NO_3—N er angitt i mg pr. kg organisk tørrstoff *Content of NH_3—N and NO_3—N are stated in mg per kg of organic dry matter*								
	Vekts-procent *Weight in %*	Volum-procent *Volume in %*	Lagret 8 uker *Stored 8 weeks*			Lagret 16 uker *Stored 16 weeks*			Lagret 50 uker *Stored 50 weeks*		
			pH	NH_3-N	NO_3-N	pH	NH_3-N	NO_3-N	pH	NH_3-N	NO_3-N
10° C.	100	20	4,62	317	0	4,88	557	0	4,69	1120	17
	150	30	4,54	273	0	4,51	427	0	4,67	1002	28
	225	40	4,55	263	0	4,54	530	0	4,81	1613	26
	325	55	4,47	256	0	4,58	760	0	4,94	2506	0
	450	75	4,61	267	0	4,66	732	0	4,72	1359	0
15° C.	100	20	4,64	341	0	4,77	784	0	4,44	1031	87
	150	30	4,54	321	0	4,55	655	0	4,59	1415	148
	225	40	4,60	409	0	4,71	941	0	4,87	2357	209
	325	55	4,58	341	0	4,76	1054	0	5,06	3008	557
	450	75	4,54	415	0	4,57	955	0	4,79	1624	148
20° C.	100	20	4,76	430	0	4,80	1244	0	4,63	1697	235
	150	30	4,61	498	0	4,90	1286	0	5,06	2416	261
	225	40	4,56	359	0	4,92	1585	0	5,02	3049	453
	325	55	4,73	373	0	5,02	1972	0	4,33	1577	2003
	450	75	4,68	798	0	5,02	1573	0	5,04	1916	348
25° C.	100	20	4,92	840	0	4,98	1812	0	4,84	1921	87
	150	30	4,96	831	0	5,20	1725	0	4,91	1965	348
	225	40	4,72	862	0	5,31	2432	0	5,31	4146	706
	325	55	4,90	888	0	5,29	2540	0	4,64	2198	2589
	450	75	4,98	1167	0	5,28	1899	0	4,69	2230	314
30° C.	100	20	5,16	1230	0	4,86	2259	0	4,95	1913	0
	150	30	5,11	1205	0	5,13	1878	0	5,12	1725	0
	225	40	4,91	1402	0	4,95	1843	0	5,20	2299	0
	325	55	4,92	1289	0	5,05	1838	0	5,37	2425	0
	450	75	5,09	1415	0	5,42	2143	0	5,26	2125	0

Av tab. 4 ser man at der er en jevn stigning i ammoniakkinnholdet med stigende lagringstemperatur. Efter 8 ukers lagringstid er det således 10 ganger større ammoniakkinnhold på 30° C enn det er ved 10° C. Noget regelmessig utslag for de forskjellige fuktighetsgrader kan man ikke finne her. Der forekommer ikke nitrat i nogen av prøvene efter 8 ukers lagringstid.

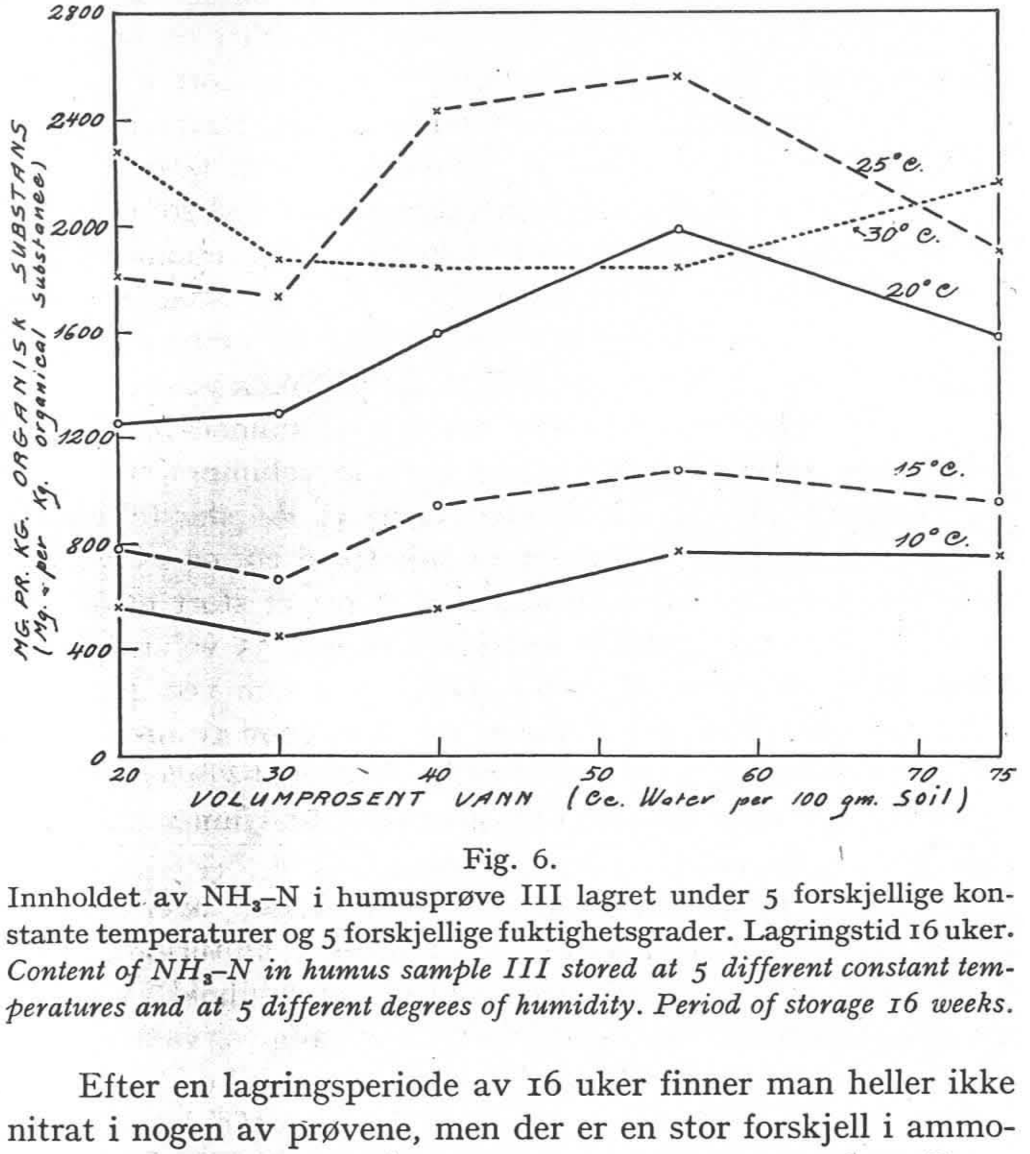

Fig. 6.

Innholdet av NH_3-N i humusprøve III lagret under 5 forskjellige konstante temperaturer og 5 forskjellige fuktighetsgrader. Lagringstid 16 uker. *Content of NH_3-N in humus sample III stored at 5 different constant temperatures and at 5 different degrees of humidity. Period of storage 16 weeks.*

Efter en lagringsperiode av 16 uker finner man heller ikke nitrat i nogen av prøvene, men der er en stor forskjell i ammoniakkdannelsen ved de forskjellige temperaturtrin. Dette fremgår tydelig av fig. 6. Ved 55 volumprocent fuktighet er ammoniakkinnholdet ved 15° C 1054 mg, ved 20° C er det derimot 1972 mg eller omtrent dobbelt så meget som ved 15° C, og ved 25° C er det 2540 mg pr. kg organisk tørrsubstans.

Av kurvene i fig. 6 fremgår det at der også er utslag for de forskjellige fuktighetsgrader, idet man ved lagringstemperaturene 20° og 25 C° har de største ammoniakkmengder ved et vanninnhold av 55 volumprocent. Forskjellen er derimot liten for lagringstemperaturene 10° og 15° C. Ved 30° C derimot er ammoniakkmengden litt høiere ved den laveste og høieste fuktighetsgrad enn ved de midlere fuktighetsgrader.

Den næste analyse blev utført efter 50 ukers lagringstid (se tab. 4). Da er det i enkelte prøver også blitt en betydelig nitratmengde. Nu har man opnådd et ganske stort utslag for de forskjellige fuktighetsgrader for samtlige temperaturtrin. Dette gjelder såvel innhold av ammoniakk som nitrat.

Av fig. 7 ser man at ammoniakkinnholdet ved 10° og 15° C er størst ved 55 volumprocent fuktighet. Optimumsområdet for fuktigheten må også ifølge dette ligge et sted omkring 55 volumprocent. Ved 55 volumprocent er ammoniakkinnholdet dobbelt så stort som ved 40 og 75 volumprocent. Ved 20° og 25° C finner man derimot den største ammoniakkmengde i de prøver hvor fuktigheten har vært 40 volumprocent.

Kurvene for nitratinnholdet viser at de største nitratmengder finnes i de prøver som er lagret ved 20° og 25° C. Ved disse temperaturer har man dessuten et meget stort utslag for de forskjellige fuktighetsgrader, idet der ved 55 volumprocent fuktighet er 5 ganger så stor nitratmengde som ved 40 og 75 volumprocent. Ved 30° C finnes der ikke spor av nitrat, ved 10° C er det ubetydelig ved samtlige fuktighetsgrader, og ved 15° C er det også relativt lite, men også her finner man den største mehgde ved 55 volumprocent.

TRÅEN (1916) har foretatt undersøkelser over fuktighetens innflytelse på kvelstoffomsetningen i kulturjord. Han finner den største nitrifikasjon ved et vanninnhold av ca. $^2/_3$ av den maksimale vannkapasitet. Det minste vanninnhold hvorunder det kan foregå nitrifikasjon ligger ved ca. 18—37 % av full metning. Av mine undersøkelser fremgår det at dette også gjelder for humusprøver. 55 volumprosent svarer ifølge fig. 2 til ca. $^2/_3$ av full metning.

Kurvene for nitrat- og ammoniakkinnholdet må sees i sammenheng. Ved nitrifikasjonen nedsettes ammoniakkinnholdet, og når mengden av ammoniakk ved 20° og 25° C er

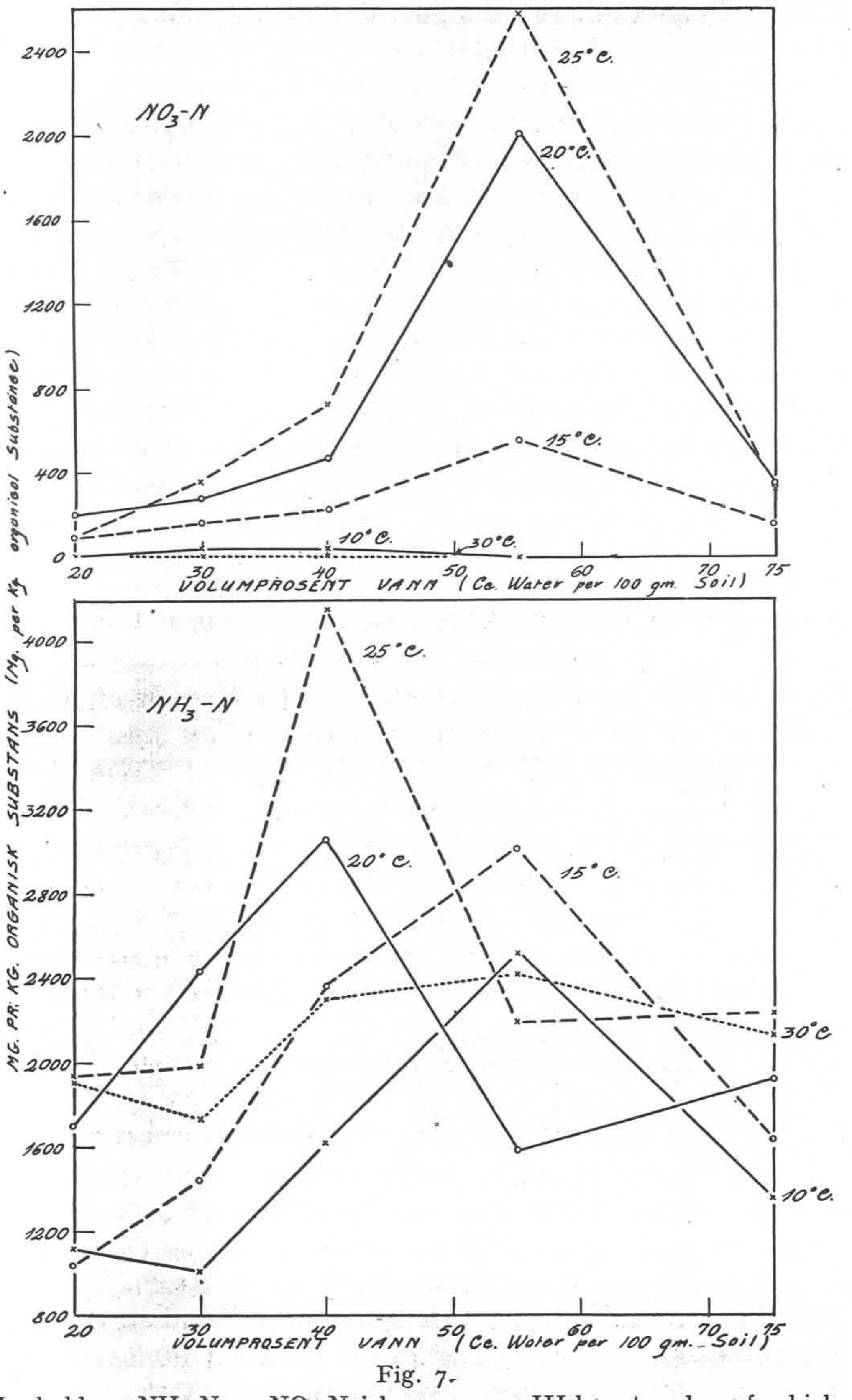

Fig. 7.

Innhold av NH_3-N og NO_3-N i humusprøve III lagret under 5 forskjellige konstante temperaturer og 5 forskjellige fuktighetsgrader. Lagringstid 50 uker.

Content of NH_3-N and NO_3-N in humus sample III stored at 5 differen constant temperatures and at 5 different degrees of humidity. Period o storage 50 weeks.

større ved 40 volumprocent enn ved 55 volumprocent beror ikke det på at optimumsområdet er forskjellig fra 10 og 15° C, men nitratdannelsen ved 20° og 25° C har vært så intens at ammoniakkinnholdet har gått sterkt tilbake. Oksydasjonen til nitrat har vært meget større enn ammoniakkfrigjørelsen.

Når nitrifikasjonen først kommer i gang går denne omsetning meget raskere enn ammoniakkfrigjørelsen, og som følge derav synker ammoniakkinnholdet i prøven. TRÅEN (1936 side 122) har også vist at nitrifikasjonen når den først kommer i gang er meget intens til å begynne med for senere å avta langsomt.

Da det kunde tenkes at en lagring i lengere tid ved 30° C hadde skadet betingelsene for nitratdannelse, blev en serie lagringskar som hadde stått i 8 uker ved 30° C flyttet over til 20° for å undersøke dette forhold nærmere.

Tabell 5.

Analyseresultater av humusprøver som først er lagret 8 uker ved 30° C og derefter i 42 uker ved 20° C.

Analyses of humus samples, first stored for 8 weeks at 30° C and then for 42 weeks at 20° C.

Vanninnhold *Water content*		pH	Mg NH_3 — N		Mg NO_3 — N	
Vekts-procent *Weight in %*	Volum-procent *Volume in %*		pr. kg tørr humus *Per kg of dry humus*	pr. kg org. substans *Per kg of org. matter*	pr. kg tørr humus *Per kg of dry humus*	pr. kg org. substans *Per kg of org. matter*
100	20	4,98	1728	3010	0,0	0,0
150	30	5,19	2175	3789	19,0	33,0
225	40	5,15	2220	3867	20,0	35,0
325	55	5,02	2120	3693	0,0	0,0
450	75	5,41	1338	2331	0,0	0,0

I tabell 4 er opført innholdet av ammoniakk og nitrat i disse prøver efterat de hadde vært lagret i 8 uker under 30° C. Derpå har prøvene stått i 42 uker ved 20° C, og resultatene av analysene efter denne lagringstid er opført i tab. 5.

Nitratinnholdet er ubetydelig efter 42 ukers lagringstid ved 20° C, idet der ved 30 og 40 volumprocent fuktighet kun finnes ca. 30 mg pr. kg organisk tørrstoff. Ved de andre

fuktighetsgrader er det intet. Under en lagring ved 30° C i 8 uker er evnen til nitrifisering blitt borte. Ammoniakkdannelsen derimot har vært meget intens, idet der i disse prøver er mere ammoniakk enn i de som har vært lagret under en og samme temperatur hele tiden. Dette ser man ved å sammenligne resultatene i tab. 5 med de som er opført i tab. 4.

Tab. 3 og 4 viser hvordan vannstoffjonkoncentrasjonen avhenger av ammoniakk- og nitratinnhold. Som man kan vente finner man den laveste pH-verdi der hvor man har den største nitratmengde, mens et stort innhold av ammoniakk forskyver reaksjonen i alkalisk retning. Lagringstemperaturen vil således også innvirke på pH-verdien. I humusprøve I, tab. 3, kan man se eksempel på at pH er 1,0 høiere i de prøver som er lagret på 30° C enn i de som er lagret på 20° C.

FEHÉR (1932) har påvist at der i skogens humusdekke finner sted en forandring i surhetsgraden fra den ene årstid til den annen. HESSELMAN (1937) har også påvist det samme. Han finner at pH er lavest om forsommeren (juni), og høiest om sommeren (juli til august). Om høsten skjer der en mere uregelmessig senkning i pH-verdien. Ifølge mine undersøkelser skulde altså surhetsgradens variasjon i en og samme prøve være sterkt avhengig av forholdet mellem ammoniakk og nitrat. Da dette veksler med de klimatiske variasjoner, er det også meget rimelig at man ute i naturen finner en tilsvarende veksling i vannstoffjonkoncentrasjonen. Det er naturligvis også andre produkter som dannes under omsetningen, såsom organiske syrer som påvirker reaksjonen, men innhold av ammoniakk og nitrat synes ifølge dette å ha stor innvirkning på surhetsgraden.

Av de utførte forsøk kan man trekke følgende konklusjoner:

1. Kvelstoffomsetningen i humus fra skogjord er sterkt avhengig av lagringstemperatur og fuktighetsgrad.
2. Ammoniakkdannelsen tiltar med stigende temperatur fra 10 til 30° C. Blir lagringstiden over 12 uker vil ammoniakkmengden bli større under en temperatur av 25° C enn ved 30° C. Den intense ammoniakkproduksjon som man får ved 30° C de første uker under lagringen holder ikke ut i en lengere periode, men avtar litt efter hvert.

3. Ved lagringstemperaturene 10° og 15° C har fuktighetsgraden i humusen innen fuktighetsområdet 20 til 75 volumprocent ikke nogen avgjørende innflytelse på ammoniakkdannelsen. På 20° og 25° C, derimot vil en fuktighetsgrad omkring 55 volumprocent være den gunstigste. Dette vanninnhold svarer til $^2/_3$ av full metning. For ammoniakkproduksjonen betyr lagringstemperaturen mere enn fuktighetsgraden.
4. Optimumstemperaturen for nitratdannelsen i skoghumus fra Trøndelag ligger ved ca. 20° C. Ved 30° C får man ingen nitrifikasjon selv i en humusprøve som lett nitrifiseres ved noget lavere temperatur.
5. Ved en lagringstid av 8 uker på 30° C tapes evnen til nitrifisering.
6. I humus hvor nitratdannelsen først begynner efter flere måneders lagring, får man stort utslag for de forskjellige lagringstemperaturer, idet nitratdannelsen begynner tidligst ved 20° C. Ved 10° og 15° C tar det lengere tid før nitrifiseringen begynner og nitrifikasjonen foregår langsomt. I lett nitrifiserbar jord kan man derimot få ganske stor nitratproduksjon også ved disse lave temperaturtrin (se fig. 5). Dette er et bevis på at det er tilgangen på ammoniakk som regulerer intensiteten av nitratdannelsen.
7. Fuktigheten har større innflytelse på nitratdannelsen enn på ammoniakkproduksjonen. Fra 40—55 volumprocent fuktighet er det således en meget stor økning i nitratproduksjonen. Hvis fuktighetsgraden blir 75 volumprocent virker den hemmende på nitratdannelsen. Den gunstigste fuktighetsgrad for nitratproduksjonen i skoghumus må ifølge mine undersøkelser ligge omkring 55 volumprocent, hvilket svarer til et vanninnhold av $^2/_3$ av full metning.
8. Da der er en sterk økning i ammoniakk- og nitratproduksjon fra 15° til 20° C kan man under lagringsforsøk risikere å få meget forskjellige resultater i for øvrig like prøver, dersom man ikke holder en bestemt konstant temperatur.
9. En forskjell i lagringstemperatur på 5° (innen området 20° til 25° C) kan bevirke en forandring i pH-verdi på

1,0 pH. Denne forandring synes å være avhengig av forholdet mellem ammoniakk og nitrat.

10. Skal man sammenligne analyser av lagringsforsøk som er utført til forskjellige tider eller av forskjellige forskere på forskjellige laboratorier, må prøvene ha vært lagret under ensartede forhold m. h. t. temperatur og fuktighet. En lagringstemperatur av 20° C og en fuktighetsgrad av 50 volumprocent vil ifølge mine forsøk passe bra når man skal studere kvelstoffomsetningen i humusprøver.

Kapitel II.

KULLDIOKSYDUTVIKLINGEN VED FORSKJELLIG TEMPERATUR OG FUKTIGHET

Metodikk.

Under analysene av humusprøvenes kulldioksydproduksjon har jeg anvendt en apparatur hvor prinsippet er at man først lar CO_2-friluft passere gjennem den humusprøve som man skal undersøke. Den kulldioksyd som utvikles i humusprøven opfanges i absorbsjonsrør som kan stenges med haner og avveies. I fig. 8 er der en skjematisk fremstilling av den apparatur som blev anvendt til disse forsøk.

Den humusprøve som skal undersøkes fylles på en almindelig avklaringsflaske, hvor der er tub i bunnen. Under humusprøven er der et lag med renvasket, grov grus så luften som skal strømme gjennem flasken har anledning til å fordele sig jevnt i humusprøven. Luftstrømmen som reguleres ved hanen *h* i sugeflasken *S* går inn i absorbsjonsrør *A*, hvor luften først blir vasket i 50 % kalilut. Derefter passerer luften en cylinder som er fylt med natronkalk. Fra absorbsjonsrør *A* går luften videre gjennem rør *B* som inneholder $Ba(OH)_2$. Her får man kontroll på om luften er fri for CO_2, idet væsken i *B* stadig må holde sig klar. Vaskeflasken *C* inneholder glycerin og tjener som en lås for å hindre at kullsyreholdig luft fra jordflasken ikke skal komme til rør *B*. Fra jordflasken *J* går luften videre gjennem et rør som inneholder kalciumklorid. Her blir den vanndamp som følger med fra jordflasken absorbert. I absorbsjonsrør *E* er der koncentrert svovelsyre. Ved å veie dette med visse mellemrum kan man kontrollere om rør *D* er helt effektivt, da rør *E* ikke må tilta i vekt.

Absorbsjonsrørene *F* og *G* er fylt med natronkalk. Her absorberes den kulldioxyd som luften har optatt fra humusprøven. Ved å veie disse 2 rør får man så vekten av den CO_2-mengde som er produsert i den humusprøve man undersøker.

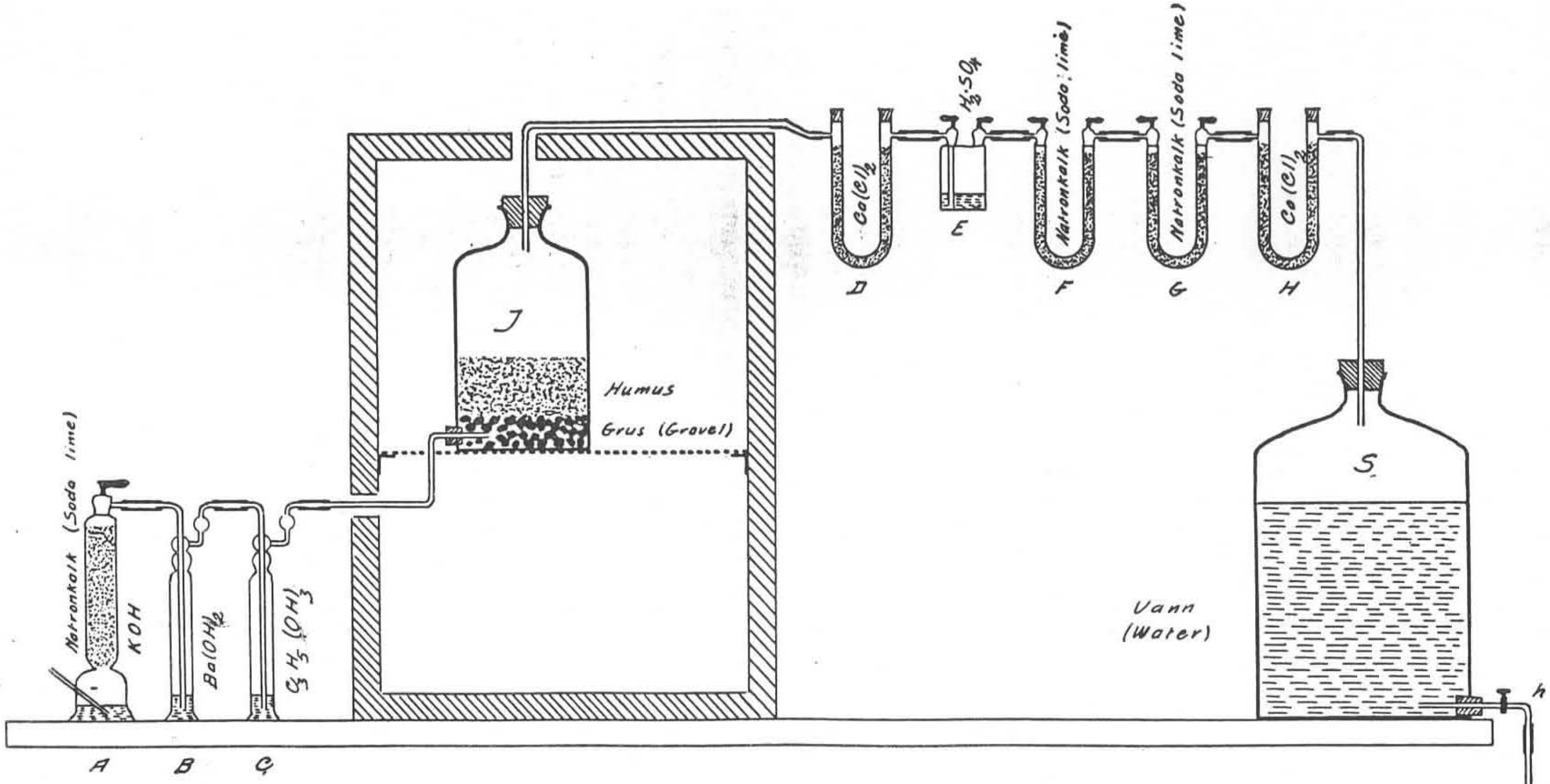

Fig. 8.
Skjematisk fremstilling av den apparatur som er anvendt under undersøkelsen av kulldioksydutviklingen i humusprøver.
Outline of the apparatus used in the investigation of the generation of carbondioxide in humus samples.

Hvis røret *G* begynner å tilta nevneverdig i vekt kan det bero på at absorbsjonsevnen i natronkalken i rør *F* ikke lenger er tilfredsstillende. I så tilfelle må den skiftes ut. Hvis luftstrømmen går hurtig gjennem absorbsjonsrørene, vil absorbsjonen bli ufullstendig selv om natronkalken er i orden. Luftstrømmen må derfor reguleres slik at den går meget langsomt gjennem absorbsjonsrørene. Under disse forsøk blev luftstrømmen avpasset således at der for hvert døgn gikk ca. 1 liter luft gjennem absorbsjonsrørene. Gjennem absorbsjonsapparatet gikk der altså ca. 60 ml luft pr. time. Røret *H*, som er fylt med kalciumklorid, tjener til å hindre at fuktig luft fra sugeflasken *S* skal komme til rør *G*.

Under slike forsøk må man passe på at ikke humuslaget i jordflasken *J* blir for tykt. Jo tynnere dette er jo bedre gjennemluftning får man. Man må alltid utføre en blindanalyse som går parallelt med de prøver man undersøker. Herved får man anledning til å kontrollere om vektene av de to absorbsjonsrørene *F* og *G* holder sig konstante.

I begynnelsen av forsøket vil man finne at røret *F* i en slik blindanalyse avtar i vekt. Dette beror på at luften når den kommer fra rør *E* er meget tørr. Den vil da opta endel vanndamp fra natronkalken og følgen derav er at røret *F* blir lettere helt inntil fuktighetsgraden i natronkalken er blitt så lav at der ikke lenger kan avgis noget vanndamp til luften som passerer igjennem. Det samme kan også foregå i rør *G*. Når man utfører blindanalyser kan man ta hensyn til disse feilkilder og korrigere resultatene som ellers kan bli misvisende, særlig i begynnelsen av forsøkene.

Materialet.

Det første forsøk blev utført vinteren 1935—1936. Den anvendte humus er tatt av samme prøve som den som blev anvendt til lagringsforsøk samme vinter (prøve 1, tab. 1, side 185). Det er altså en humusprøve som nitrifiserer meget lett. Den anvendte humus hadde en fuktighet av 40 volumprocent. Efterat humusen var fylt på flaskene fikk disse stå i 6 uker under en temperatur av 7° C før forsøket blev satt i gang. Dette blev gjort for å undgå den unormalt høie kullsyreutvikling som følger efter en slik bearbeidelse.

Det næste åndingsforsøk blev utført vinteren 1936—1937 med humus fra samme prøve som blev anvendt til lagringsforsøket samme vinter (prøve III, tab. 2, side 186). Denne humus var treg med hensyn til nitratdannelse. Forberedelsen av prøven blev utført på samme måte som ved første forsøk.

CO_2-utviklingen blev undersøkt ved 10°, 15°, 20°, 25° og

30° C, altså de samme temperaturtrin som jeg hadde ved lagringsforsøkene. Absorbsjonsrørene blev veiet hvert 7. døgn, slik at der mellem hver veining gikk like mange timer. På hver prøveflaske var der avveiet en humusmengde slik at antall gram organisk tørrstoff var likt for alle prøver. Forsøkene pågikk i 16 uker.

Tabell 6.

Kulldioksydutviklingen i humusprøve I, lagret ved 5 forskjellige konstante temperaturer.

Generation of carbondioxide in humus sample I, stored at 5 different constant temperatures.

Uke *Week*	Mg CO_2 pr. kg. *Mg CO_2 per kg.*									
	10° C.		15° C.		20° C.		25° C.		30° C.	
	Tørr jord *Dry soil*	Org. tørr-stoff *Org. dry matter*	Tørr jord *Dry soil*	Org. tørr-stoff *Org. dry matter*	Tørr jord *Dry soil*	Org. tørr-stoff *Org. dry matter*	Tørr jord *Dry soil*	Org. tørr-stoff *Org. dry matter*	Tørr jord *Dry soil*	Org. tørr-stoff *Org. dry matter*
1	1 656	3 792	2 497	5 719	4 461	10 216	5 264	12 055	6 634	15 192
2	1 496	3 425	2 220	5 085	3 767	8 625	4 474	10 245	5 349	12 249
3	1 273	2 914	2 009	4 600	3 160	7 237	4 047	9 267	4 973	11 388
4	1 273	2 914	2 131	4 880	3 478	7 964	3 939	9 021	4 941	11 314
Sum	5 698	13 045	8 857	20 284	14 866	34 042	17 724	40 588	21 897	50 143
5	1 212	2 776	1 783	4 082	3 435	7 865	3 908	8 949	4 901	11 224
6	1 191	2 728	2 000	4 580	3 219	7 372	3 746	8 577	4 716	10 800
7	1 269	2 907	1 888	4 323	2 996	6 861	3 578	8 194	4 840	11 084
8	1 193	2 731	1 965	4 500	2 631	6 023	3 317	7 596	4 579	10 485
Sum	4 865	11 142	7 636	17 485	12 281	28 121	14 549	33 316	19 036	43 593
9	1 153	2 642	2 065	4 729	2 431	5 568	3 121	7 147	4 725	10 820
10	1 089	2 494	1 949	4 463	2 235	5 118	3 015	6 904	4 314	9 878
11	1 000	2 290	1 789	4 096	2 211	5 063	2 854	6 536	4 190	9 594
12	1 341	3 070	1 743	3 992	2 035	4 661	2 893	6 625	3 735	8 552
Sum	4 583	10 496	7 546	17 280	8 912	20 410	11 883	27 212	16 964	38 844
13	1 212	2 776	1 635	3 745	1 916	4 388	2 725	6 239	3 751	8 590
14	963	2 205	1 370	3 137	1 895	4 340	2 845	6 514	3 840	8 794
15	1 198	2 743	1 582	3 622	1 864	4 268	2 597	5 947	4 062	9 302
16	1 070	2 451	1 486	3 402	1 927	4 412	2 729	6 250	3 890	8 908
Sum	4 443	10 175	6 073	13 906	7 602	17 048	10 896	24 950	15 543	35 594
Totalsum *The sum total*	19 589	44 858	30 112	68 955	43 661	99 981	55 052	126 066	73 440	168 174

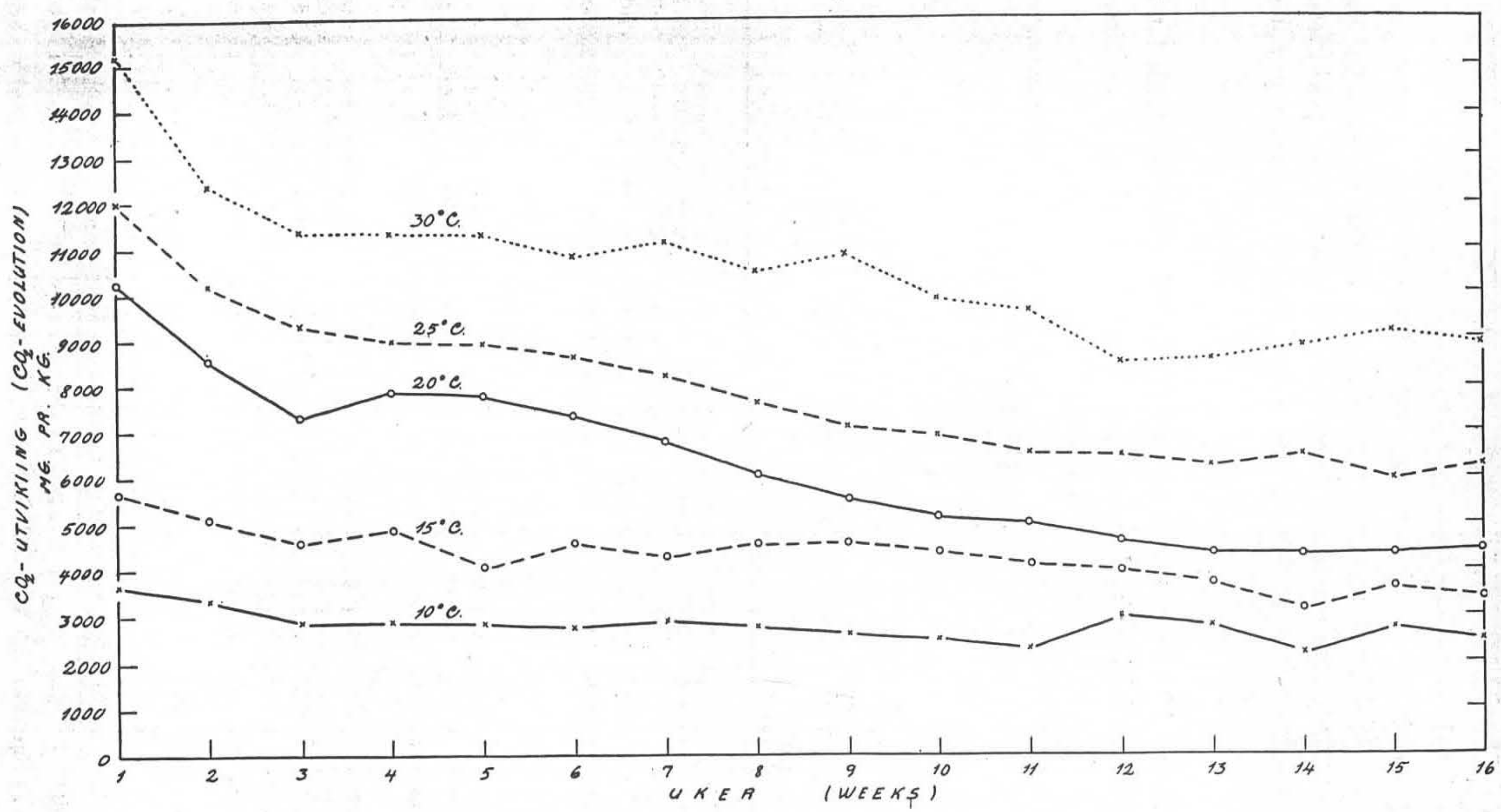

Fig. 9.
Kulldioksydutviklingen i humusprøve I, lagret ved 5 forskjellige konstante temperaturer.
Evolution of carbondioxide in humus sample I stored at 5 different constant temperatures.

Forsøksresultatene.

De i tab. 6 og 7 opførte tall er omregnet til å gjelde mg CO_2 pr. kg organisk tørrsubstans. Forskjellen i CO_2-utviklingen ved de forskjellige temperaturtrin fremgår av fig. 9. Ved 10° og 15° C er CO_2-produksjonen omtrent like høi hele perioden. For de tre høieste temperaturtrin avtar CO_2-utviklingen ganske

Tabell 7.

Kulldioksydutviklingen i humusprøve III, lagret ved 5 forskjellige konstante temperaturer.

Generation of carbondioxide in humus sample III, stored at 5 different temperatures.

Uke *Week*	Mg. CO^2 pr. kg. (*Mg. CO^2 per kg.*) 10° C. Tørr jord *Dry soil*	10° C. Org. tørrstoff *Org. dry matter*	15° C. Tørr jord *Dry soil*	15° C. Org. tørrstoff *Org. dry matter*	20° C. Tørr jord *Dry soil*	20° C. Org. tørrstoff *Org. dry matter*	25° C. Tørr jord *Dry soil*	25° C. Org. tørrstoff *Org. dry matter*	30° C. Tørr jord. *Dry soil*	30° C. Org. tørrstoff *Org. dry matter*
1	1 870	3 263	2 763	4 822	4 321	7 541	4 833	8 434	7 111	12 410
2	2 188	3 818	2 858	4 988	4 206	7 341	5 780	10 080	7 422	12 953
3	1 853	3 234	2 866	5 002	3 952	6 897	5 038	8 793	5 982	10 440
4	1 802	3 145	2 709	4 727	3 941	6 878	4 968	8 671	5 086	8 876
Sum	7 713	13 460	11 196	19 539	16 420	28 657	20 619	35 978	25 601	44 679
5	1 887	3 293	2 530	4 415	4 047	7 064	4 934	8 611	4 555	7 950
6	1 792	3 128	2 232	3 896	3 754	6 551	4 716	8 231	4 115	7 182
7	1 615	2 818	2 446	4 269	3 794	6 622	4 598	8 024	4 048	7 064
8	1 707	2 979	2 400	4 188	3 738	6 523	4 268	7 448	3 730	6 509
Sum	7 001	12 218	9 608	16 768	15 333	26 760	18 516	32 314	16 448	28 705
9	1 756	3 064	2 460	4 293	3 762	6 566	3 979	6 944	3 399	5 932
10	1 761	3 074	2 393	4 176	3 668	6 402	3 903	6 812	3 369	5 879
11	1 763	3 077	2 455	4 285	3 710	6 475	3 806	6 643	3 286	5 735
12	1 784	3 113	2 490	4 345	3 531	6 163	3 962	6 915	3 415	5 959
Sum	7 064	12 328	9 798	17 099	14 671	25 606	15 650	27 314	13 469	23 505
13	1 596	2 785	2 334	4 074	3 598	6 279	4 079	7 118	3 135	5 471
14	1 677	2 927	2 480	4 328	3 487	6 085	4 013	7 004	3 074	5 364
15	1 450	2 531	2 191	3 824	3 700	6 458	4 177	7 289	2 909	5 076
16	1 622	2 831	2 436	4 252	3 601	6 285	4 097	7 150	3 050	5 322
Sum	6 345	11 074	9 441	16 478	14 386	25 107	16 366	28 561	12 168	21 233
Totalsum *The sum total*	28 123	49 080	40 043	69 884	60 810	106 130	71 151	124 167	67 668	118 122

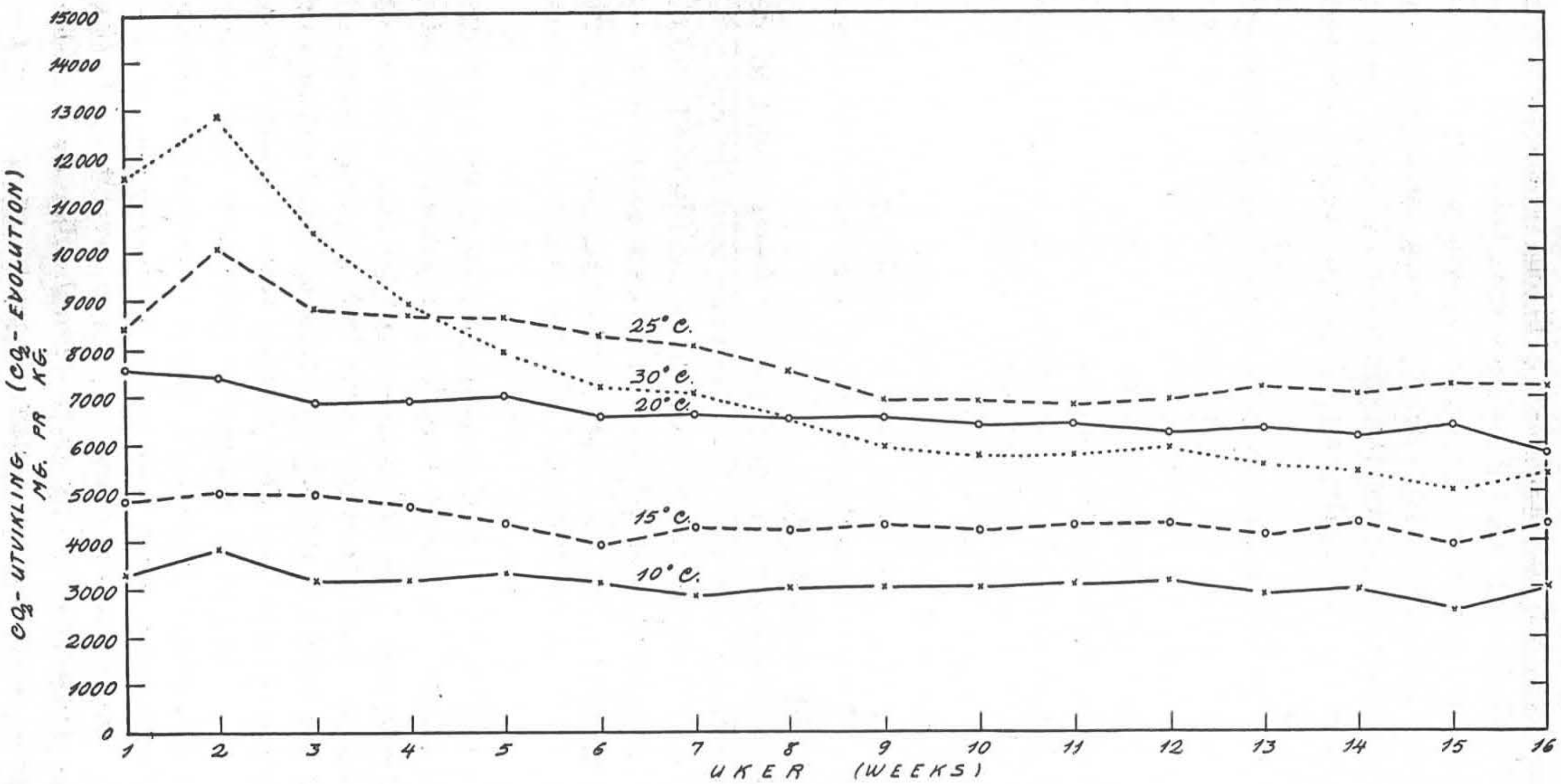

Fig. 10.
Kulldioksydutviklingen i humusprøve III, lagret ved 5 forskjellige konstante temperaturer.
Evolution of carbondioxide in humus sample III stored at 5 different constant temperatures.

meget i løpet av de to første uker. Siden synker den jevnt utover helt til den 12. uke, hvorefter den holder sig næsten konstant i samtlige prøver. Det er en tydelig forskjell mellem de forskjellige temperaturtrin hele perioden, slik at CO_2-utviklingen tiltar med stigende temperaturer.

Resultatet av CO_2-analysene i humusprøve III er opført i tab. 7 og fig. 10.

På de tre laveste temperaturtrin har CO_2-utviklingen gått temmelig jevnt hele lagringsperioden. Ved 25° C derimot avtar CO_2-utviklingen ca. 2000 mg i løpet av de første 8 uker. Siden holder den sig temmelig konstant på ca. 7200 mg. Den sterke synkning i CO_2-produksjonen er ennu større ved 30° C, idet den efter 4 uker ligger lavere enn ved 25° C. CO_2-utviklingen ved 30° C. avtar så lenge forsøket pågår, og allerede efter 8 uker er den lavere enn ved 20° C.

Lagringsforsøkene (kap. I) viste også at den intense ammoniakkdannelse som man har de første uker ved 30° C ikke vedvarer i nogen lengere periode. Vi finner altså det samme forhold for CO_2-utviklingen.

Av disse åndingsforsøk med humus fremgår det at den intense omsetning som man til å begynne med får ved 30° C vedvarer ikke så lenge i den mere tregt nitrifiserende humus fra *Vaccinium*-vegetasjon på flate 143 som i den mere lett nitrifiserende humus fra flate 144. Ved de laveste temperaturtrin derimot er CO_2-utviklingen i disse to humustyper omtrent like stor.

Årsaken til dette forhold er sannsynligvis at der i humusen fra flate 144 finnes mere av urteaktige plantedeler, særlig røtter av gressarter. Disse er forholdsvis rike på lett tilgjengelige kullhydrater og eggehvitestoffer som lett går i opløsning, da urteaktige plantedeler danner en førsteklasses næringskilde for mikroorganismene. I den humus som er samlet under *Vaccinium*-vegetasjonen er oprinnelsesmaterialet mere proteinfattig og inneholder mere av ligninrike bestanddeler som danner en betydelig simplere næringskilde for mikroorganismene.

Ifølge undersøkelser som er utført av WAKSMAN og HUTCHINGS (1936) vet vi at mere ligninholdige bestanddeler dekomponeres vesentlig av sopper. Soppene er også de mest aktive under humusdannelsen ved de lave temperaturer, like-

dan i de mere sure humustyper, og dekomposisjonen av ligninet foregår meget langsomt. WAKSMAN og HUTCHINGS (1936) har påvist at ligninet dekomponeres meget bedre i planter som er høstet tidlig enn i mere modne og forvedede deler. Kullstoffets organiske oprinnelse viste sig å ha stor innflytelse på denne prosess. Det er således naturlig at den intense CO_2-utvikling som man får ved høie temperaturer vil avta raskere jo mere ligninrik humusens oprinnelsesmateriale er.

Tabell 8.

Analyser av humusprøve IV.

Analyses of humus sample IV.

Humus fra *Humus from*	% Organisk substans % *of organic matter*	pH	Mg NH_3—N pr. kg tørr humus *Per kg of dry humus*	Mg NH_3—N pr. kg org. substans *Per kg of organic matter*	Mg NO_3—N pr. kg tørr humus *Per kg of dry humus*	Mg NO_3—N pr. kg org. substans *Per kg of organic matter*
Gammel *Vaccinium*-rik granskog . . . . *Old spruce-forest rich in Vaccinium*	85,4	3,72	45	53	0,0	0,0

For nærmere å studere dette forhold utførte jeg et nytt åndingsforsøk med en ennu tregere humustype fra tett *Myrtillus*-vegetasjon i Rør- og Langvann. Dette var typisk råhumus (tab. 8). Som det fremgår av fig. 11 er CO_2-produksjonen også her meget jevn ved 10°, 15° og 20° C de 6 uker forsøket har gått, men den ligger betydelig lavere enn i de tilsvarende prøver i de foregående forsøk. Ved 25° C avtar CO_2-mengden fra ca. 6500 mg i begynnelsen av forsøket til ca. 4500 mg efter 6 uker. Ved 30° C avtar CO_2-utviklingen ennu sterkere. Efter 1. uke er den 9000 mg, den 6. uke er den bare 3600 mg og således mindre enn både ved 25° og 20° C. Den totale CO_2-mengde som er produsert i løpet av 6 uker blir dog litt større på 30° C, da CO_2-utviklingen i begynnelsen av forsøket er så meget større (se tab. 9).

Tabell 9.
Kulldioksydutviklingen i humusprøve IV, lagret ved 5 forskjellige konstante temperaturer.
Generation of carbonadioxide in humus sample IV, stored at 5 different constant temperatures.

Uke *Week*	Mg CO_2 pr. kg. (*Mg CO_2 per kg.*) 10° C Tørr jord *Dry soil*	10° C Org. tørrstoff *Org. dry matter*	15° C Tørr jord *Dry soil*	15° C Org. tørrstoff *Org. dry matter*	20° C Tørr jord *Dry soil*	20° C Org. tørrstoff *Org. dry matter*	25° C Tørr jord *Dry soil*	25° C Org. tørrstoff *Org. dry matter*	30° C Tørr jord *Dry soil*	30° C Org. tørrstoff *Org. dry matter*
1........	1 515	1 776	2 415	2 831	4 223	4 951	5 318	6 235	7 214	8 457
2........	1 521	1 783	2 649	3 105	4 494	5 268	5 579	6 540	7 814	9 161
3........	1 788	2 096	2 666	3 125	4 247	4 979	5 143	6 029	6 138	7 196
4........	1 992	2 335	2 662	3 121	4 408	5 168	4 858	5 695	4 917	5 764
Sum......	6 816	7 990	10 392	12 182	17 372	20 366	20 898	24 499	26 083	30 578
5........	1 836	2 152	2 575	3 019	4 542	5 325	4 473	5 244	3 572	4 188
6........	1 895	2 222	2 444	2 865	4 449	5 216	4 027	4 721	3 130	3 669
Sum......	3 731	4 374	5 019	5 884	8 991	10 541	8 500	9 965	6 702	7 857
Totalsum *The sum total*	10 547	12 364	15 411	18 066	26 363	30 907	29 398	34 464	32 785	38 435

Av disse målinger fremgår det at jo mere råhumusartet humusdekket er, jo raskere avtar CO_2-utviklingen ved de høiere temperaturtrin (25° og 30° C), og CO_2-produksjonen pr. kg organisk tørrsubstans er dessuten mindre ved samtlige temperaturtrin i den siste prøve som er tatt fra typisk råhumusmark.

For å få en oversikt over fuktighetens innflytelse på CO_2-utviklingen undersøkte jeg èn serie av humusprøve III som hadde vært lagret ved 10° C i 50 uker ved 20, 30, 40, 55 og 75 volumprocent fuktighet.

Åndingsforsøket gikk først i 4 uker ved 10° C. Derefter blev temperaturen forhøiet til 20° C.

Av fig. 12 fremgår det at CO_2-utviklingen den første periode da temperaturen var 10° C var like stor for de tre høieste fuktighetsgrader. Ved å sammenligne fig. 10 og 12 ser man at CO_2-utviklingen ved 10° C er temmelig lik i disse to analyser, idet den

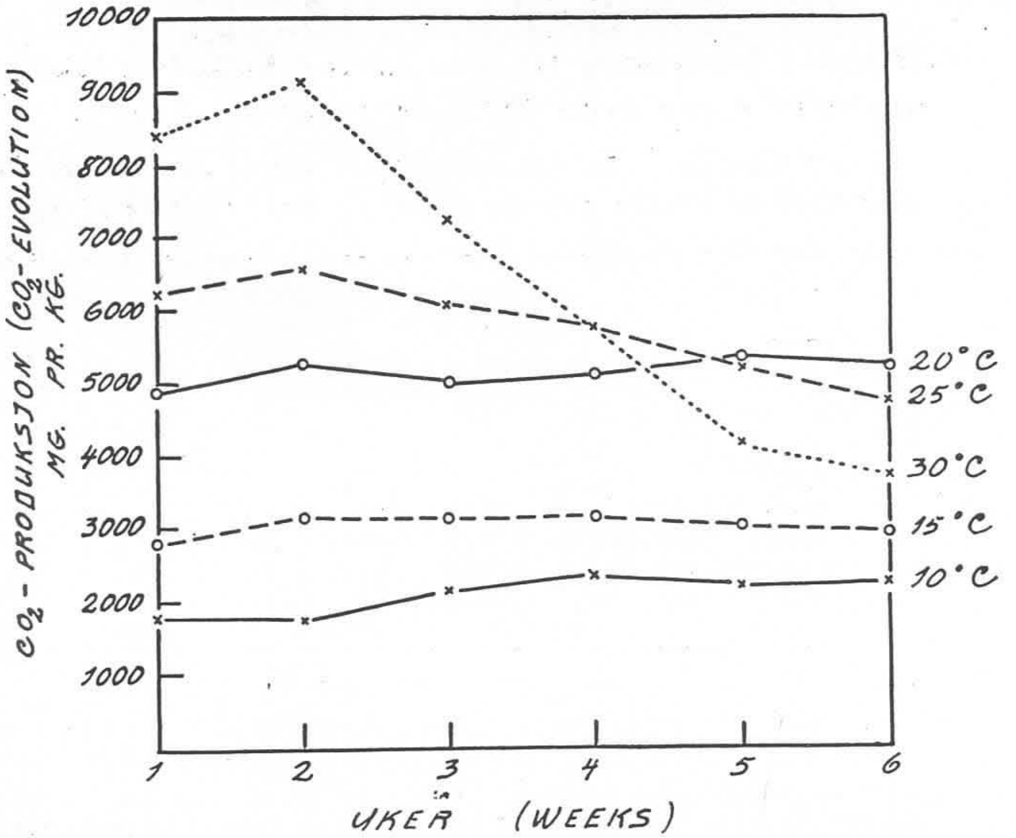

Fig. 11.
Kulldioksydutviklingen i humusprøve IV lagret ved 5 forskjellige konstante temperaturer.
Evolution of carbon dioxide in humus sample IV stored at 5 different constant temperatures.

Tabell 10.

Innhold av NH_3—N og NO_3—N i de undersøkte prøver før og efter åndingsforsøket angitt i mg pr. kg organisk substans.

Content of NH_3—N and NO_3—N before and after the CO_2-analysis stated in mg per kg org. matter.

Volumprocent fuktighet.
Water content, volume in %.

	20		30		40		55		75	
	NH_3—N	NO_3—N	NH_3—N	NO_3—N	NH_3—N	NO_3—N	NH_3—N	NO_3—N	NH_3—N	NO_3—N
Før forsøket....... *Before the experiment*	1120	17	1002	28	1613	26	2506	0	1359	0
Efter forsøket..... *After the experiment*	1373	20	1638	20	2312	40	2751	819	1578	292

Tabell 11.

Kulldioksydutviklingen i humusprøve III lagret under 5 forskjellige fuktighetsgrader. Lagringstid 4 uker under 10° C, og 4 uker under 20° C.

Generation of carbon dioxide in humus sample III stored at 5 different degrees of humidity. Period of storage 4 weeks at 10° C, and 4 weeks at 20° C.

Temperatur *Temperature*	Uke *Week*	Mg CO_2 pr. kg. (*Mg CO_2 per kg.*) Volumprocent vann (*Water in volume %*) 20: Tørr jord *Dry soil*	20: Org. tørrstoff *Org. dry matter*	30: Tørr jord *Dry soil*	30: Org. tørrstoff *Org. dry matter*	40: Tørr jord *Dry soil*	40: Org. tørrstoff *Org. dry matter*	55: Tørr jord *Dry soil*	55: Org. tørrstoff *Org. dry matter*	75: Tørr jord *Dry soil*	75: Org. tørrstoff *Org. dry matter*
10° C	1	353	615	765	1 332	2 048	3 567	1 935	3 370	1 898	3 307
	2	364	634	778	1 355	1 949	3 396	2 021	3 520	1 900	3 310
	3	359	625	745	1 298	1 991	3 469	1 982	3 452	1 967	3 426
	4	342	596	700	1 220	1 762	3 069	1 777	3 096	1 731	3 015
	Sum	1 418	2 470	2 988	5 205	7 750	13 501	7 715	13 438	7 496	13 058
20° C	5	596	1 038	1 443	2 514	4 138	7 208	3 798	6 616	3 467	6 040
	6	629	1 096	1 695	2 952	4 313	7 514	3 875	6 751	2 790	4 860
	7	567	988	1 731	3 016	3 892	6 780	3 587	6 249	2 590	4 511
	8	659	1 148	1 700	2 962	3 775	6 576	3 533	6 155	2 537	4 419
	Sum	2 451	4 270	6 569	11 444	16 118	28 078	14 793	25 771	11 384	19 830
Totalsum *The sum total*		3 869	6 740	9 557	16 649	23 868	41 579	22 493	39 209	18 880	32 888

ligger omkring 3000 mg pr. uke. Ved 20 volumprocent er det derimot bare ca. 500 mg og ved 30 volumprocent er det ca. 1300 mg pr. kg organisk tørrstoff.

Når temperaturen efter 4 uker forhøies til 20° C stiger CO_2-utviklingen til over det dobbelte ved samtlige fuktighetsgrader, men nu blir der en tydelig forskjell, idet man får den høieste CO_2-utvikling ved 40 volumprocent fuktighet. Forskjellen mellem 40 og 55 volumprocent er ikke særlig stor, og CO_2-utviklingen synes å holde sig ganske konstant ved disse fuktighetsgrader. Ved 75 volumprocent derimot avtar den temmelig hurtig allerede den annen uke efterat temperaturen blev forhøiet til 20° C.

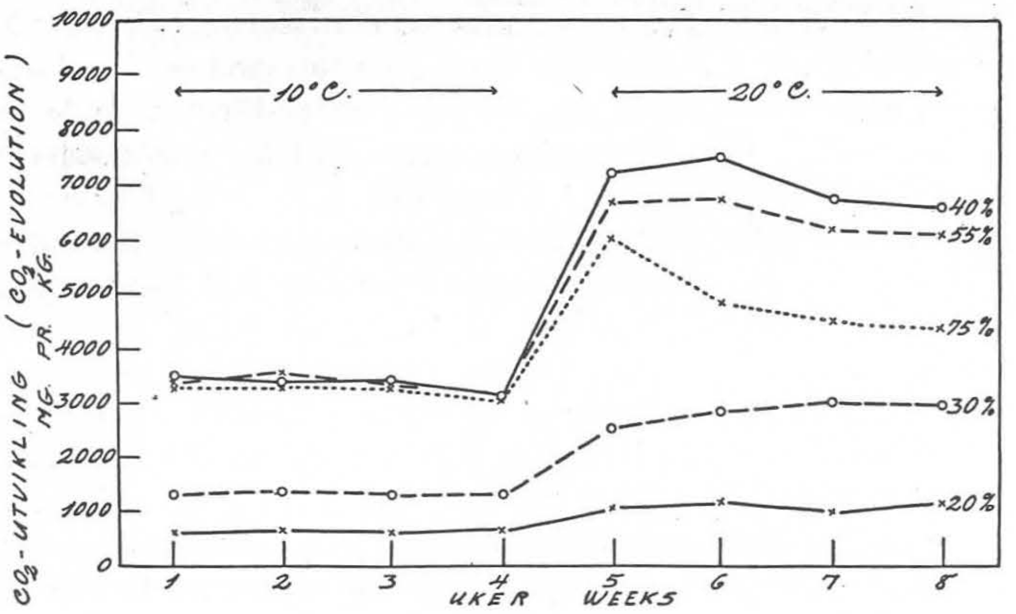

Fig. 12.

Kulldioksydutviklingen i humusprøve III, lagret under 5 forskjellige fuktighetsgrader. Lagringstid 4 uker under 10° C og 4 uker under 20° C. *Evolution of carbon dioxide in humus sample III stored at 5 different degrees of humidity. Period of storage 4 weeks at 10° C and 4 weeks at 20° C.*

En stor fuktighetsgrad gjør sig mere gjeldende som begrensende faktor for CO_2-utviklingen efter hvert som temperaturen stiger fra 10° til 20° C. Dette skyldes ikke direkte det store vanninnhold, men lufttilgangen blir for liten. Når temperaturen forhøies til 20° C, blir mikroorganismenes virksomhet så intens at lufttilgangen under de største fuktighetsgrader blir en minimumsfaktor. Ved 10° C var det derimot temperaturen som var minimumsfaktoren. Ammoniakk- og nitratinnholdet i de anvendte humusprøver før og efter åndingsforsøket er opført i tab. 10. Nitratinnholdet er uforandret ved de tre laveste fuktighetsgrader. Ved 55 volumprocent fuktighet er det derimot dannet 819 mg, og ved 75 volumprocent er det dannet 292 mg pr. kg organisk tørrsubstans. Den optimale fuktighetsgrad for nitrifikasjonen blir altså også efter dette 55 volumprocent. Det største ammoniakkinnhold finnes derimot ved 40 volumprocent fuktighet, og selv under et så lavt vanninnhold som 30 volumprocent er der dannet 600 mg NH_3 i løpet av den tid åndingsforsøket har gått. Men den totale kvelstoffrigjørelse i form av NO_3—N og NH_3—N er derimot størst ved en fuktighetsgrad av 55 volumprocent.

Av kurvene i fig. 12 ser man at den største CO_2-mengde er utviklet ved et vanninnhold av 40 volumprocent. Fuktighetsoptimumet for de organismer som nedbryter de kvelstoffrie stoffer ligger efter dette lavere enn for nitrifikasjonsbakteriene.

Kulldioxydutviklingen i jord er undersøkt av en hel rekke forskere. Foruten de som er nevnt tidligere skal jeg her kun nevne WOLLNY, LUNDEGÅRDH og STOKKLASA. WOLLNY (1897) var en av de første som studerte dekomposisjonen av humus ved forskjellige temperaturer og fuktighetsgrader. Han fant at den største CO_2-utvikling foregikk ved 32° C. Av de forsøk jeg har utført fremgår det at intensiteten av CO_2-utviklingen tiltar med stigende temperatur helt til 30° C. Men dette varer kun en bestemt tid og periodens lengde synes å være forskjellig for de forskjellige humustyper. Hvis forsøket pågår en lengere tid kan totalmengden av utviklet kulldioxyd således bli mindre på 30° C enn på 25° C. Dette kan man se av tab. 7, hvor den totale CO_2-mengde efter 16 uker på 25° C er 124 167 mg, på 30° C er den derimot bare 118 122 mg pr. kg organisk substans.

Fra undersøkelser av LUNDEGÅRDH (1924), STOKKLASA (1926) og andre vet man at CO_2-produksjonen i jord er avhengig av:

1. Antallet av mikroorganismer.
2. Mengden av organisk materiale og dets sammensetning.
3. Jordens luft- og vannkapasitet.
4. Temperaturen.
5. Innholdet av næringssalter.

Det skulde ligge nær å anta at man ved å måle CO_2-utviklingen ute i marken skulde få et godt uttrykk for omsetningens intensitet i humusdekket. Men vanskeligheten her er at temperatur og fuktighet varierer for hver time i døgnet. Skal man få pålitelige middeltall må man derfor ha et meget stort antall målinger. Dessuten kan analysene utføres med meget større nøiaktighet på et laboratorium. Man får en bestemt avgrenset prøve hvor man kan bestemme mengden av organisk materiale og uttrykke analyseresultatet på dette. Analysene kan dessuten utføres under en konstant temperatur og en bestemt fuktighetsgrad.

Hvis man tar humusprøver med et almindelig plantebor, fjerner vegetasjonsdekket og lagrer disse prøver i dertil skikkede glasskar, kan man ved en slik analyse også få et uttrykk for CO_2-utviklingen i humusdekket pr. flateenhet og pr. volumenhet. Dette vilde være meget bedre da en angivelse av CO_2-utviklingen pr. kg organisk tørrstoff oftest gir et dårlig sammenligningsgrunnlag. En smuldring av humusen vil dessuten medføre en unormal CO_2-utvikling de første uker efterat prøven er bearbeidet, da en stor del av såvel planter som dyr blir revet i stykker. Herved forstyrres den stabilitet som ellers hersker i humusdekket. Jeg lot derfor prøvene stå i ca. 6 uker før absorbsjonsapparatet blev koblet til. Ved å benytte uforstyrrede prøver som ikke blir smuldret får man en mere jevn CO_2-utvikling under analysen.

Da CO_2-utviklingen er et direkte mål for intensiteten av samtlige biologiske omsetningsprosesser i humusdekket, skulde den gi et bedre uttrykk for humusens beskaffenhet enn det man får ved en kjemisk analyse av ammoniakk- og nitratinnhold. CO_2-utviklingen kan også måles med temmelig stor nøiaktighet.

Ved en slik analyse bør man kunne opnå en finere gradering av de forskjellige humustyper. Det kan jo være en livlig omsetning i en humusprøve fordi om der ikke dannes nitrater (ROMELL 1934). Ammoniakkinnholdet er jo bare et uttrykk for omsetningen av de kvelstoffholdige stoffer og bestemmelsen av dette er dessuten beheftet med store feil. En analyse av CO_2-utviklingen vilde derimot gi et uttrykk for intensiteten av alle de biologiske prosesser som foregår i humusdekket. Den største vanskelighet blir å uteksperimentere en teknikk slik at analysene ikke blir for omstendelige. Ved disse forsøk har jeg kun forsøkt å vise at man også under en slik analyse må holde en konstant temperatur og en bestemt fuktighet hvis resultatene skal bli sammenlignbare. En temperatur av 20° C vilde også her være den gunstigste da CO_2-utviklingen ved denne temperatur er temmelig jevn. En fuktighetsgrad av 55 volumprocent synes også her å være den heldigste.

Konklusjon:

1. I en humusprøve som lett nitrifiserer tiltar CO_2-utviklingen med stigende temperatur fra 10° til 30° C. Dette gjelder selv i en lagringsperiode på 16 uker.
2. I en humus hvor der først dannes nitrater efter en lengere lagringsperiode, avtar CO_2-utviklingen ved 30° C hurtig, slik at den efter 5 ukers lagringstid er lavere enn ved 25° C og efter 9 uker lavere enn ved 20° C.
3. I en typisk råhumus synes det i punkt 2 nevnte forhold å være ennu mere utpreget, da CO_2-utviklingen både ved 25° og 30° C efter 5 ukers lagringstid er mindre enn ved 20° C.
4. Disse forsøk tyder på at man ved å undersøke CO_2-produksjonen i humus ved 20° og 30° C vil få et uttrykk for humusens kvalitet, da forholdet mellem CO_2-utviklingen på disse temperaturtrin synes å være forskjellig for de forskjellige humustyper.
5. Ved en lagringstemperatur på 10° C er CO_2-utviklingen ens innen fuktighetsområdet 40 til 75 volumprocent. Ved 20° C. virker en vanngehalt av 75 volumprocent hemmende på CO_2-utviklingen.
6. En fuktighetsgrad av 30 volumprocent virker som sterkt begrensende faktor for CO_2-utviklingen både ved 10° og 20° C.

THE DECOMPOSITION IN THE HUMUS LAYER AT DIFFERENT TEMPERATURES AND DEGREES OF MOISTURE

The present work is a report on some experiments carried out at the Laboratory with forest humus from Tröndelagen. The aim of the experiments was to study the effect of temperature and moisture on:

I. The formation of ammonia and nitrate.

II. The evolution of carbon dioxide.

I. Formation of ammonia and nitrate in forest humus stored at different temperatures and different degrees of moisture.

The decomposition of nitrogen was studied in three different humus types. Type I was collected on a clear cutting of 1925 (Plot 144, cf. MORK 1933, pp 13 to 17). Type II was collected under a heavily thinned stand (Plot 143, MORK l. c.) where the vegetation consisted chiefly of *Dryopteris Linnæana*. Humus type III was collected under the same stand, the major part of the vegetation, however, in this case consisting of *Vaccinium Myrtillus*.

The analyses of these humus types were carried out previous to the commencement of the storage experiments (see Tables 1 and 2). In the analyses the method of determining ammonia and nitrate, described by CARSTEN OLSEN (1929), was employed. The samples were stored in glass jars (see Fig. 1), in thermostates in which the temperature was kept constant throughout the period of storage.

In the tables the moisture has been stated in per cent. of volume as well as of weight. The volume percentage indicates number of cubic centimetres per 100 cubic centimetres of soil, and the weight percentage is stated in relation to dry humus (dried at 100° C). A diagram is given in Table 1, of the relation between volume percentage and per cent. of saturation in the humus types studied.

The result of the storage experiments with humus types I and II is given in Table 3, and Figs. 2, 3, 4, and 5. The decomposition of nitrogen was here investigated at three different degrees of humidity and five different degrees of temperature. The results from the storage experiments with humus type III is stated in Table 4, and in Figs. 6 and 7. In this humus type the decomposition of nitrogen was studied at 5 different degrees of moisture and 5 different temperatures.

The following conclusions may be drawn from the investigations effectuated:

1. The decomposition of nitrogen in humus from forest soil is highly dependent on temperature of storage and degree of moisture.

2. The formation of ammonia increases with rising temperature of from 10° to 30° C. If the period of storage exceeds 12 weeks the quantity of ammonia will be larger at 25° than at 30° C. The intensive production of ammonia obtained at 30° C during the first weeks of storage, does not last for any length of time, but declines gradually.

3. At a storage temperature of from 10° to 15° C, within a range of moisture of from 20 to 75 volume percentage, the degree of moisture has no decisive effect on the formation of ammonia. At 20° and 25° C, on the other hand, a moisture degree of about 55 volume percentage would be the most favourable. This water content corresponds to two-thirds of complete saturation. For the production of ammonia the storage temperature is of greater consequence than the degree of moisture.

4. The optimum temperature for the formation of nitrate in forest humus from Tröndelag lies in the neighbourhood of 20° C. At 30° C there is no nitrification even in humus samples easily nitrified at a somewhat lower temperature.

5. With a period of storage of 8 weeks below 30° C the power of nitrification is lost.

6. In humus where the formation of nitrate does not begin until after several months' of storage, there is a great difference in the effect of the various temperatures, the nitrification first starting at 20° C. It takes a longer time for the nitrification to get started at 10° and 15° C, and it proceeds slowly. In soils easily nitrified, however, a fairly high production

of nitrates may be obtained even at such low temperatures (cf. Fig. 5). This proves that it is the access of ammonia which regulates the rate of the formation of nitrate.

7. The moisture has a greater influence upon the formation of nitrate than upon the production of ammonia. Thus, a very great increase in the production of nitrate takes place at a moisture of from 40 to 55 volume percentage. If the moisture reaches 75 volume percentage it has a checking effect upon the formation of nitrate. The most favourable degree of moisture for the production of nitrate in forest humus should, according to my investigations, lie in the neighbourhood of 55 volume percentage, which corresponds to a water content of two-thirds of complete saturation.

8. Due to the fact that a great increase in the production of ammonia and nitrate takes place at 15° to 20° C, the chance is that the results, from otherwise homogeneous samples, under the storage experiments will differ greatly, unless a given constant temperature is being maintained.

9. A difference in temperature of storage of 5° (within the range of from 20° to 25° C) may bring about a change in the pH value of 1,0. This change seems to be dependent on the relationship between ammonia and nitrate.

10. If analyses of storage experiments carried out at different times or by different workers, are to be compared the samples must have been stored under homogeneous conditions as regards temperature and moisture. According to my experiments a storage temperature of 20° C and a degree of moisture of 50 volume percentage should prove suitable for a study of the decomposition of nitrogen in humus samples.

II. The evolution of carbon dioxide at different degrees of temperature and moisture.

The CO_2 production has been studied in humus types I, III, and IV. Type I, as will be seen from the above, nitrifies very easily. Type III, on the other hand, is more like raw humus, no nitrates being formed until after a very long period of storage; and humus type IV is a typical raw humus from and old spruce forest rich in *Vaccinium* (cf. Table 8).

In Fig. 8 an outline has been given of the apparatus used

in these respiration experiments, and the results from the analyses are given in Tables 6, 7, 9, and 11, and in Figs. 9, 10, 11, and 12. From these may be seen the degrees of temperature and moisture at which the experiments have been carried out.

Conclusions.

1. In a humus sample easily nitrified the evolution of CO_2 increases with rising temperatures of from 10° to 30° C. This even applies to a period of storage of 16 weeks.

2. In a humus where the nitrates first are formed after a longer period of storage the evolution of CO_2 decreases rapidly at 30° C, the effect being that after a period of storage of 5 weeks it is lower than at 25° C, and after a period of 9 weeks lower than at 20° C.

3. In a typical raw humus the circumstances referred to under 2. appear to be even more marked, the evolution of CO_2, after a storage of 5 weeks at 25° and at 30° C being less than at 20° C.

4. These experiments indicate that by investigating the CO_2 production in humus at 20° and 30° C, an expression may be obtained for the quality of the humus, the relation between the evolution of CO_2 at these temperatures seeming to vary according to humus type.

5. At a temperature of storage of 10° C the evolution of CO_2 is equal within the moisture range of from 40 to 75 volume percentage. At 20° C a water content of 75 volume percentage has a checking effect on the evolution of CO_2.

6. A degree of moisture of 30 volume percentage acts as a very restrictive factor for the evolution of CO_2 at 10° as well as 20° C.

LITTERATURFORTEGNELSE

Bengtsson, N., 1924. Bestämning av ammoniakk i jord. — Medd. från Centralanst. för försöksväsendet på jordbruksområdet. 255. Stockholm.

Fehér, D., 1936. Untersuchungen über die zeitlichen Änderungen der Acidität und des Humusgehaltes des Waldbodens. — Archiv für Landwirtschaft.

Glømme, H., 1932. Undersøkelser over ulike humustypers ammoniakk- og nitratproduksjon samt faktorer som har innflytelse på disse prosesser. — Medd. fra Det norske Skogforsøksvesen nr. 14. Bind IV.

Gårder, T., og Hagem, O., 1921. Salpetersyredannelse i udyrket jord. — Medd. nr. 4 fra Vestlandets forstlige forsøksstasjon. Bergen.

Hesselman, H., 1917 b. Studier över salpeterbildningen i naturliga jordmåner och dess betydelse i växtekologiskt avseende. — Medd. från Stat. Skogsförsöksanstalt. H. 13—14.

— 1917 c. Om våra skogsföryngringsåtgärders inverkan på salpeterbildningen i marken och dess betydelse för barrskogens föryngring. — I vid. H. 13—14, Band II.

— 1926. Studier över barrskogens humustäcke, dess egenskaper och beroende av skogsvården. — I vid. H. 22.

— 1927. Studier över barrträdplantans utveckling i råhumus. I. Betydelsen av kvävemobiliseringen i råhumustäcket. I vid. H. 23.

— 1937. Om humustäckets beroende av beståndets ålder och sammansättning i den nordiska granskogen av blåbärsrik *Vaccinium*-typ och dess inverkan på skogens föryngring och tillväxt. H. 30.

Hutchinson, C. M., 1913. Report of the imperial agricultural bacteriologist. — Res. Inst. Pusa, Rep. 1911—12.

Lundegårdh, H., 1924. Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur. — Jena.

Mischustin, E., 1925. The analysis of temperature conditions of bacterial prosesses in the soil in connection with the adaption of bacterial to climate. — Patchvoviedienie. 20: 43—67.

Mork, E., 1933. Temperaturen som foryngelsesfaktor i de Nord-Trønderske granskoger. — Medd. fra Det norske Skogforsøksvesen. Nr. 16. B. V. H. 1.

Olsen, Carsten, 1929. Om den analytiske bestemmelse av ammoniak i jordbunden og om jordbundens absorbtionsevne overfor ammoniak. — Medd. fra Carlsberg laboratoriet. Bd. 17.

Panganiban, E. H., 1925. Temperature as a factor in nitrogen changes in the soil. — Jour. Amer. Soc. Agron. 17: 1—31.

Riehm, H., 1926. Bestimmung der Nitrate im Ackerboden mittels der Diphenylreaktion. — Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde. B. A.

Romell, L. G., 1934. En biologisk teori för mårbildning och måraktivering.— Stockholm.

Russell, E. J., 1905. Oxidation in soils, and its connection with fertility. Journ. Agric. Sc. 1.

— *and Appleyard, A.*, 1915. The atmosphere of soil: its composition and the causes of variation. I vid. Sc. 7.

Russel, E. J. and Appleyard, A., 1917. The influence of soil conditions on the decomposition of organic matter in the soil. — Ibid. 8.

Stokklasa, J., 1911. Methoden zur Bestimmung der Atmungsintensität der Bakterien im Boden. — Z. landw. Versuchsw. Österreich 14.

— *und Doerell*, 1926. Biophysikalische und biochemische Durchforschung des Bodens. — Berlin.

Tråen, A. E., 1916. Über den Einfluss der Feuchtigkeit auf die Stickstoffumsetzungen im Erdboden. — Centrbl. Bakt. II, 45: 115.

Waksman, S. A., 1932. Principles of soil microbiology. London.

— *and Hutchings, J. F.*, 1936. Associative and antagonistic effects of microorganisms. III. Associative and antagonistic relationships in the decomposition of plant residues. — Soil Science.

— *and Madhok, M. R.*, 1937. Influence of light and heat upon the formation of nitrate in soil. — Soil Science. vol. 44. Nr. 5.

Wollny, E., 1897. Die Zersetzung der organischen Stoffe und Humusbildungen mit Rücksicht auf die Bodenkultur. — Heidelberg.